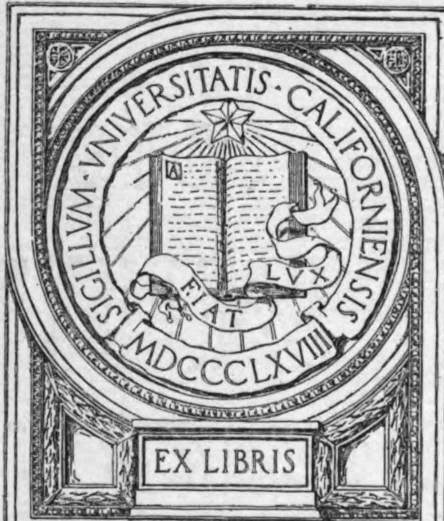
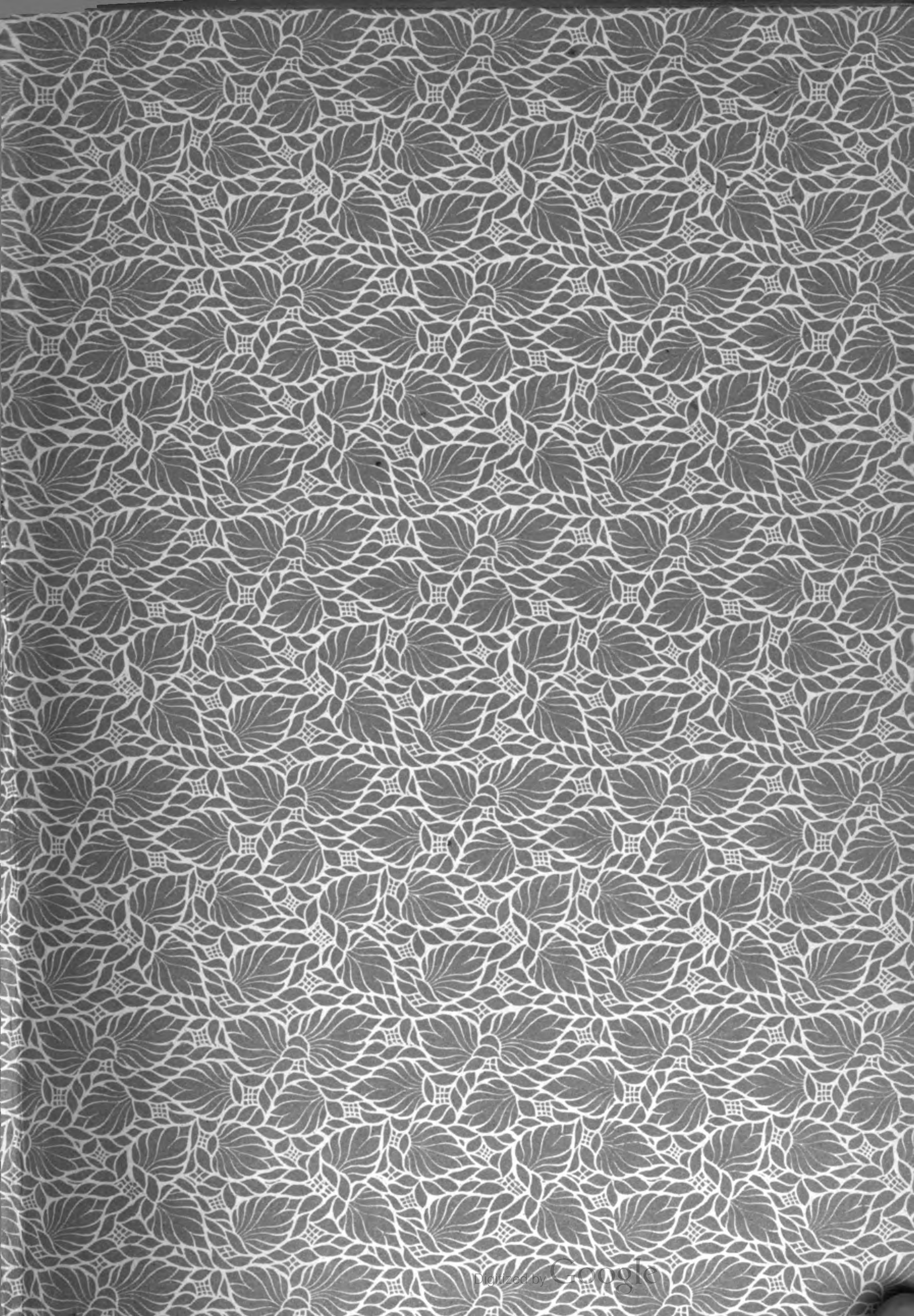


Leitfaden des Röntgenverfahrens

Jng. Fr. Dessauer & Dr. med. B. Wiesner




SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS



10 -

LEITFADEN
des
RÖNTGEN-VERFAHRENS

Unter Mitarbeit von

Dr. **A. Blencke,** Magdeburg, Professor Dr. **Hildebrand,** Marburg, Geh. Medizinalrat Prof. Dr. **A. Hoffa,** Berlin, Professor Dr. **A. Hoffmann,** Düsseldorf, Dozent Dr. **Guido Holzknecht,** Wien

herausgegeben von

Ingenieur **Friedrich Dessauer** und Dr. med. **B. Wiesner**
Aschaffenburg. Aschaffenburg.

Mit 113 Abbildungen und 3 Tafeln.

Dritte umgearbeitete und vermehrte Auflage.



Leipzig.
1908.

Inhaltsverzeichnis.

III.

Medizinischer Teil.

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage.

Das Röntgenverfahren ist eine Hilfsdisziplin von hervorragender Bedeutung geworden und ist in Gegenwart und Zukunft berufen, eine große und immer größere Anwendung zu finden.

Anwendung vor allen Dingen in der Klinik des Chirurgen, des Internisten und des Dermatologen, allgemeine Anwendung aber auch in der großen Praxis, beim vielbeschäftigten praktischen Arzt, auf dem Lande, wie in der Stadt.

Dieser Entwicklung, der immer allgemeineren Anwendung des Verfahrens steuern wir entgegen mit der Einsicht, daß noch manche Arbeit bis dahin geleistet werden muß.

Arbeit in medizinischer Beziehung: denn noch nicht sind alle Anwendungsgebiete bis zur Grenze untersucht und durchforscht; Arbeit in physikalischer und technischer Beziehung: denn trotzdem hier sehr vieles geschehen ist, so sind doch immer noch einzelne Gebiete nicht völlig aufgehellt und manche Hilfs-Methoden ausbaufähig.

Arbeit endlich in lehrender, aufklärender Beziehung, und hier soll das vorliegende Buch seine Aufgabe erfüllen. Denn hier liegt der Schwerpunkt der Entwicklung. Das Röntgenverfahren zwingt den Arzt, sich mit elektrophysikalischen Detailkenntnissen zu befassen, die ihm durchaus fern lagen. Wenig heimisch in diesem fremden Gebiet, war er selbst oft nicht genügend urteilsfähig, auf das Vertrauen den technischen Instituten, seinen Lieferanten gegenüber angewiesen. Wie viele Mißstände, beabsichtigte und unbeabsichtigte Täuschungen dies im Gefolge hatte, wie viele Mißerfolge es zeitigte, wie viele falsche Urteile daraus hervorgingen, und wie unendlich Viele durch diese Unsicherheit von der Benutzung der Röntgen-Methode abgehalten wurden, wissen alle, die in den letzten Jahren der Entwicklung dieser Disziplin auch nur einige Aufmerksamkeit zugewendet haben. Aber noch mehr: selbst in den Kreisen der Ärzte, die auf dem Gebiete arbeiteten, war die Unmöglichkeit sich mit den elektrophysikalischen Methoden theoretisch und praktisch genügend von Grund aus vertraut zu machen, schwer fühl-

bar, und diese Unmöglichkeit machte sich in der Literatur sehr bemerkar. So finden wir in der Röntgenliteratur eine außerordentliche Unsicherheit und schwere, weitverbreitete Irrtümer in den technischen Angaben und Folgerungen. So konnte es u. a. geschehen, daß in dieser Beziehung die schwersten, gegen elementare Gesetze verstoßenden Irrtümer in dem physikalischen Teile einer ganz neuen literarischen Erscheinung gelehrt werden. Und durch die Übertragung dieser Irrtümer und ihre oft unwidersprochene, häufig wiederholte literarische Niederlegung mußte die Unsicherheit wachsen und daraus ein Zustand konsequenten Mißtrauens gegenüber jeder, auch noch so ernst gemeinten Technikerarbeit resultieren, das für die Betroffenen peinlich und lähmend, das für die ganze Entwicklung äußerst hinderlich war. Darum gilt es zunächst und vor allem, die Orientierungsmittel und Orientierungsmöglichkeit für die Ärzte zu verbessern. Hier wollen wir einsetzen. Die technischen Informationsquellen waren bis jetzt zumeist die Kataloge der Firmen, die bei aller Anerkennung ihrer wertvollen Beiträge doch naturgemäß einseitig sein mußten und waren. Einseitig und minder wertvoll mußten auch diejenigen Bücher bleiben, die Figuren und technischen Text aus diesen Katalogen, manchmal mit recht geringer Überarbeitung entnahmen. Ein gutes Buch erschien von Dr. Gocht gleich zu Anfang der Entwicklung. Es ist leider veraltet. Ein anerkennenswertes erschöpfendes Werk über das Spezialgebiet der Radiotherapie schrieb in letzter Zeit Freund. Aber mit Ausnahme des letzteren empfehlenswerten Werkes waren die Quellen für den Arzt fast durchweg minderwertig. Sie gaben vor allem nicht das, was die Voraussetzung für alles bewußte, kritische und selbstkritische Arbeiten ist, eine Darstellung aller grundlegenden physikalischen Erkenntnisse und Gesetze, die feststehend sind in der Physik und die für die Vorgänge im Apparate, für die Konstruktion, Beurteilung und Handhabung maßgebend sind. Eine solche Orientierungsmöglichkeit existiert zur Zeit praktisch nicht.

Das versuchen wir vor allem zu geben: Eine fachmännische, kurze aber möglichst erschöpfende zusammenhängende Darstellung der physikalischen Gesetze des Röntgenverfahrens und der technischen Gesetze des Apparates, damit der Ausübende selbständig sehen und taxieren, in der Lage ist, mit vollem Bewußtsein der Herrschaft

über die physikalischen Ereignisse an seinen Apparat zu gehen.

Dann wollten wir — denn das Buch soll für die Methode werben — einen Überblick über das Gebiet des Erreichten geben und dabei überall das Wesentliche, Feststehende bringen, das Zweifelhafte, Strittige, wie es sich für einen Leitfaden geziemt, bei Seite lassen.

Wir wollen dem Anfänger eine möglichst ausreichende Anleitung geben, zuvörderst ihm zeigen, was er in seiner Disziplin von der Methode zu erwarten hat und dann, wie er es machen muß, damit er es erreicht. So sollte der Leitfaden klären .und lehren, ohne allzusehr ins Detail zu gehen.

Niemals aber wären wir soweit gekommen, auch nur einen Teil unserer hochgespannten Wünsche verwirklicht zu sehen, hätten nicht hervorragende Autoren der einzelnen Gebiete sich zur Mitarbeit gefunden. Ihnen sei im Interesse der guten Sache von ganzem Herzen auch an dieser Stelle gedankt.

Und so geben wir das Buch heraus in der Hoffnung, daß es der Röntgenmethode nützen möge, indem es klärt und lehrt und das gegenseitige Zusammenarbeiten fördert auf diesem Grenzgebiet, das Zusammenarbeiten von Technik und Medizin.

Über alle Fragen des Verfahrens stellen die Herausgeber gern ihren Rat zur Verfügung, denn es ist ja unmöglich, alle Fälle oder nur den größeren Teil im Rahmen eines Leitfadens in Betracht zu ziehen.

Für freundliche Beihilfe bei den schwierigen Korrekturen der ersten Teile und Anfertigung der Figuren danken wir Herrn Dozent-Ingenieur Glatz, Herrn Oberingenieur Goetze und den Herren Hofmann und Häring bestens.

Aschaffenburg, den 1. Oktober 1903.

Die Herausgeber.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die überaus freundliche Aufnahme, die unser Buch gefunden, zwang den Verlag, ohne Verzug 11 Wochen nach Erscheinen eine Neuauflage herzustellen. Es war bei der großen Eile leider nicht möglich, einige kleine

Druckfehler, die sich eingeschlichen haben, zu eliminieren, da die Bogen sofort weitergedruckt werden mußten.

Herzlichen Dank allen, die unser Bemühen, das Verfahren endlich auf fester physikalischer Grundlage aufgebaut, wiederzugeben, freundlich unterstützten.

Aschaffenburg, Dezember 1903.

Die Herausgeber.

Vorwort zur dritten Auflage.

Der Leitfaden des Röntgenverfahrens, seinerzeit das erste Buch der neuen Disziplin, das eine methodische Darstellung der physikalischen und technischen Grundlagen des Röntgenverfahrens versuchte, ist in den Verlag von Otto Nemnich übergegangen. Es erscheint nach vier Jahren, in vollständig umgearbeiteter und stark erweiterter dritter Auflage.

Manches hat sich in der Zwischenzeit gewandelt. Überall, besonders aber in der Therapie hat die Methode große Fortschritte zu verzeichnen.

Dank sagen wir allen unseren früheren Mitarbeitern, herzlichen Dank insbesondere denen, die in selbstloser Weise auch bei dieser dritten Auflage uns ihre Hilfe geschenkt haben. Unser Herr Verleger hat wie bei unsern anderen bei ihm erschienenen Schriftwerken auch hier seine Liberalität in jeder Weise bewährt. Herr Dr. Franze in Nauheim hat uns bei den mühevollen Korrekturen und auch sonsthin durch Rat und Tat unterstützt. Mehrere technische Beamte des Aschaffenburger Laboratoriums haben Zeichnungen für die Figuren des Werkes angefertigt.

Besonderen Dank ist der Verfasser des physikalischen und elektrotechnischen Teiles noch Herrn Dr. Richard Pauli in Landau schuldig, der in großer Sorgfalt und in eingehender Kritik der vorhergehenden Auflage ihn auf eine Reihe von Unklarheiten und Irrtümern aufmerksam machte, die — so hofft er — in der neuen Auflage vermieden sind.

Ihnen allen statten wir unsern Dank ab. Aber nicht zum mindesten auch der Kritik, die in so wohlwollender Weise das Werk aufnahm.

Möge die dritte Auflage der schönen Methode Röntgens neue Freunde gewinnen.

Aschaffenburg 1907/08.

Die Herausgeber.

Zur Einführung.

Will der Anfänger vor Enttäuschungen bewahrt bleiben, so ist vor Wahl und Benutzung der Apparate eine gute Orientierung in den einschlägigen Kapiteln der Physik und Technik notwendig. Es ist oft von sehr viel geringerer Bedeutung, ob jenes mehr oder dieses weniger in Katalogen angepriesene Modell benutzt wird, als der Umstand, daß man über Zweck und Arbeitsweise des Organs orientiert, seine Eigentümlichkeiten herausfindet und es harmonisch in das System einzugliedern weifs.

Darum folgt zunächst ein physikalischer Teil zur Einführung in die Elektrizitätslehre des Röntgenapparates, die man beherrschen soll. Manches darin wird wohl erst bei Benutzung der Apparate selbst recht in seinen Konsequenzen klar. Die technischen Winke schließen sich unmittelbar daran an. Streng vermieden ist es, alle die Hunderte von Konstruktionen, die der Markt schon brachte, auch nur teilweise zu beschreiben oder zu nennen. Das alles steht in den Katalogen. Dem Leitfaden obliegt es, das Prinzipielle, Wesentliche, Feststehende zu geben. Wir glauben übrigens hoffen zu dürfen, daß dem Leser unseres Leitfadens eine kritische Orientierung in der Fülle des von Seiten der Fabrikanten Gebotenen nicht schwer sein wird.

Das Blendenverfahren, die wichtigste und eigentlich unentbehrliche Hilfsmethode, der das Verfahren seine Bedeutung in der inneren Medizin zum großen Teile verdankt, ist besonders ausführlich behandelt. Das Kapitel über Orthodiagraphie bietet dem Herzspezialisten eine Orientierung über die Bedeutung und Anwendung des Röntgenverfahrens in

seinem Felde, während die Arbeit über stereoskopische Röntgen-Aufnahmen die Aufmerksamkeit auf dieses neue, in der Entwicklung begriffene Hilfsverfahren der Radiologie lenken soll.

Im medizinischen Teile trennen sich die Anwendungen des Verfahrens in die drei großen Gruppen: Innere Medizin, Chirurgie und Therapie.

Für jedes dieser Anwendungsgebiete suchten wir eine knappe, aber doch alles Wesentliche bietende Einführung und Anleitung zu geben. Den kritischen Fragen über Schutz des Arztes und des Patienten, über die Dosierung und den Strahlencharakter bei der Therapie wurde besondere Beachtung geschenkt.

I.

PHYSIKALISCHER TEIL.

Die physikalischen Grundlagen des Röntgenverfahrens.

A.

Von der elektrischen Energie.

Energie*) nennt die Physik die Fähigkeit zu irgend einer Arbeitsleistung; die Größe der Energie ist bestimmend für die Größe der Arbeitsleistung. Robert Mayer lehrt durch sein „Erhaltungsgesetz", daß der Gesamtbestand an Energie in allen geschlossenen Verläufen unveränderlich sei. Dieses Grundgesetz, das Gesetz von der Erhaltung der Energie, liegt allem physikalischen Forschen, Finden und Darstellen, liegt in letzter Linie allem technischen Aufbau zu Grunde. 1. Energie.

Die Formen der Energie sind mannigfaltig und lassen sich ineinander überführen. So transformiert die Dampfmaschine chemische Energie der Kohle und des Sauerstoffes in Wärmeenergieform, aus Wärmeenergieform macht sie Bewegungsenergie. Treibt die Dampfmaschine eine Dynamomaschine an, so wird Bewegungsenergie (kinetische Energie) in elektrische Energieform verwandelt. Speist die Dynamomaschine ein Netz von Leuchtkörpern, so findet in jedem einzelnen eine Transformation der elektrischen Energie in Lichtenergie und Wärmeenergie statt.

Alle physikalischen Ereignisse sind Umwandlungsvorgänge, Transformationen der Energie, bei denen eine oder mehrere Formen verschwinden und eine oder mehrere andere als Äquivalente auftreten. Alle physikalischen Versuchsanordnungen und Gerätschaften sind Stellen, an denen Energietransformationen mit Bewußtsein 2. Physik.

---

*) Eine eingehendere Behandlung finden diese grundlegenden Fragen in dem Büchlein „Die Physik im Dienste der Medizin" vom Verfasser und Dr. P. C. Franze, 1906—7. Verlag der Kösel'schen Buchhandlung in Kempten.

eingeleitet, qualitativ und quantitativ untersucht werden sollen. Die Physik selbst ist die Wissenschaft von den Energieformen und ihren Transformationen, die sie zu erkennen und zu beschreiben sucht. Die einzelnen Gebiete der Physik sind die Beschreibungen einzelner Energieformen und ihrer Transformationen.

3. Die Lehre von den X-Strahlen. Das neue Gebiet physikalischen Wissens, das von den X-Strahlen und ihrer Erzeugung handelt, ist nichts anderes, als ein Kapitel der Elektrizitätslehre. Die Energieform Elektrizität, die sich besonders leicht in andere Energieformen umwandeln läßt, eignet sich zur Transformation in eine neue, von Röntgen entdeckte Form der Energie, in Röntgenstrahlen. Daraus ergibt sich, daß wir in unseren physikalischen Betrachtungen eine dreifache Aufgabe zu erfüllen haben: das Studium der elektrischen Energieform, als der vorhandenen, zu verwandelnden, das Studium der X-Strahlen-Energieform, als der gewollten, zu erzeugenden und endlich die Herstellung solcher Bedingungen, daß die gewollte Energietransformation eintritt. Die Technik des Röntgenverfahrens, die sich darauf gründet, hat diese Bedingungen zur Energietransformation möglichst günstig zu gestalten. Das ist der Inhalt der Röntgentechnik.

---

4. Statische Elektrizität. Die Elektrizität betrachten wir bei ihrem Auftreten entweder als Eigenschaft eines Körpers oder als Arbeit verrichtende, in stetem Entstehen und Wandel begriffene Energieform. Elektrizität, die, einem Körper mitgeteilt, ihm eigentümlich ist, nennen wir statisch, den Körper selbst mit statischer Elektrizität geladen.

Die statische Elektrizität ist an den geladenen Körper gebunden und tritt als seine Eigenschaft dadurch hervor, daß andere geladene Körper von ihm abgestoßen oder angezogen werden, und daß er von seiner Ladung anderen Körpern mitteilen kann. Aus der Äußerung anziehender und abstoßender Kraft der elektrischen Ladung ergibt sich eine Verschiedenartigkeit, die auf ihre Erzeugungsweise zurückgeführt wird. Ist die elektrische Ladung durch Reibung eines Glasstabes z. B. entstanden, so heißt sie positiv, ist sie durch Reibung eines Schwefelstückes erzeugt worden, so heißt sie negativ. Gleichartig geladene Körper stoßen sich ab, ungleichartig geladene ziehen sich an.

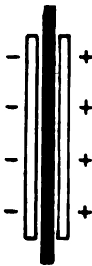
Demnach ist die statische Energieform ähnlich der chemischen Energie eines Körpers, oder der Lageenergie (eine hoch-

gelegene Wassermasse besitzt durch ihre Lage eine große Energie, die beim Herabsinken in ein niederés Niveau zur Entfaltung kommt), zunächst eine inhärierende Eigenschaft.

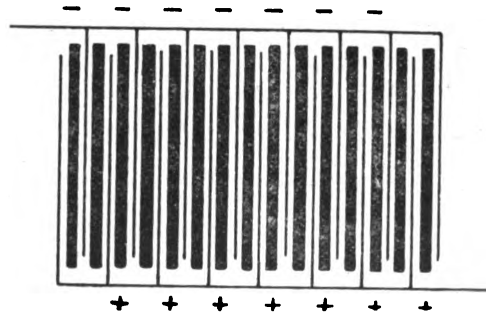
5. Kondensator.

Ein Körper vermag von dieser mitteilbaren Eigenschaft ein größeres oder geringeres Maß zu besitzen. Dieses Maß, das Maß seiner elektrischen Ladung, nennen wir seine Elektrizitätsmenge (nicht zu verwechseln mit Stromstärke bei der Elektrodynamik). Die Elektrizitätsmenge hängt ab von der Qualität der Ladung, ihrer elektrischen Wertigkeit (ihrem Potential) und der Größe der Oberfläche des geladenen Körpers.

Sind zwei Metallscheiben in obigem Sinne ungleichnamig geladen, so suchen sie sich zu nähern und ihre Ladung hebt sich bei Berührung gegenseitig auf. Liegt zwischen den beiden Platten eine Wand aus gut isolierendem Material, ein „Dielektrikum", so können sie sich nicht bis zur Berührung nähern und die Ladungen sich nicht ausgleichen. Da sie aber entgegengesetzt sind und sich anziehen, so halten sie sich durch ihre Anziehungskraft gegenseitig fest. Die Abstoßungs- und Anziehungskraft wächst mit dem Quadrate der Annäherung. Je besser der gewählte scheibenförmige Isolator ist, desto dünner kann er sein, desto näher kommen die Ladungen, desto mehr halten sich die äquivalenten, entgegengesetzten, ungleichnamigen Elektrizitätsmengen gegenseitig fest.



Figur 1.



Figur 2.

Das Aufnahmevermögen der geladenen Flächen ist um so bedeutender, je näher sie aneinander liegen, was wieder von der Stärke des Isolationsmaterials abhängt. Dieses wird um so dünner sein können, je besser sein Isolationsvermögen ist. Die Menge der in einem solchen Apparate festgehaltenen Elektrizität ist also um so größer, je größer die Fläche der geladenen Scheiben und je besser das Dielektrikum ist. Ein Apparat, der auf diese Weise statische Elektrizität aufnimmt, heißt Kondensator. (Fig. 1.) Kondensatoren von großer Kapazität entstehen durch Parallelschaltung zahlreicher Platten, wobei jeweils die positiven und negativen unter sich verbunden sind. (Fig. 2.) Die Kapazität des Kondensators muß der Elektrizitätsmenge entsprechen, die er aufzunehmen hat.

6a. Elektro-Dynamik. Anders fassen wir die Elektrizität, wenn sie durch eine Quelle (d. i. in einer andauernden primären Energietransformation, zum Beispiel in einem Element) konstant erzeugt, durch Körper fortgeleitet und zu einer Arbeitsleistung verbraucht wird. Dann abstrahieren wir von den Körpern, die nur als Fortleiter in Betracht kommen, und betrachten die Eigenschaften des elektrischen Stromes als solchen.

Um ein anschauliches Bild eines solchen Stromverlaufes zu bekommen, stellen wir uns zwei Körper, etwa zwei metallische Kugeln vor, von denen die eine in einem Bade schmelzenden Schnees, die andere in kochendem Wasser liegt. Dann sind diese beiden Kugeln in Bezug auf die Energieform Wärme verschiedenwertig — die eine hat 0° Celsius Wärmewertigkeit (Temperatur), die andere 100° Celsius. Besteht zwischen beiden Kugeln ein wärmeleitender Weg, etwa ein Metallstab, an dessen Enden sie befestigt sind, so teilt der wärmere Körper dem kälteren durch den Weg so lange Wärme mit, als die Temperaturdifferenz aufrecht erhalten bleibt. Im Stabe entsteht also ein Energiefluß, ein Wärmestrom. Das Maß dieses Stromes (seine Stärke) ist abhängig einmal von der Größe der Ursache, d. i. die Temperaturdifferenz (Wertigkeitsdifferenz in Bezug auf die Energieform Wärme, man könnte auch Wärmespannung sagen), das andere Mal von der Bequemlichkeit des Weges. In einem kurzen dicken Wärmeleiter wird der Wärmestrom größere Stärke besitzen, als in einem langgestreckten dünnen.

Analog gestaltet sich die Vorstellung des Stromverlaufs der Elektrizität:

Zwei Punkte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer elektrischen Eigenschaft, sie sind elektrisch ungleichwertig, sie besitzen verschiedenes „Potential“. Ihre Wertigkeit wird aber durch irgend eine Ursache konstant erhalten. Der Punkt höheren Potentials sucht dem Punkte niederen Potentials Elektrizität mitzuteilen und, wenn eine leitende Verbindung beider Punkte besteht, so fließt elektrischer Strom vom Punkte höheren Potentials zum Punkte niederen Potentials. Die Ursache des Stromes ist also der (konstante) Potentialunterschied (Potentialdifferenz) zwischen beiden Punkten, die dadurch hervorgerufene Ausgleichungstendenz, die wir elektrische Spannung nennen.

6b. Dimensionen des Stromes. Ohmsches Gesetz. Die Spannung, vermöge welcher der Strom vom Punkte höheren zum Punkte niederen Potentials fließt, kann verschieden groß sein, gemäß der Größe ihrer Ursache, der Potentialdifferenz. Die Spannung eines Stromes fassen wir als eine Eigenschaft desselben auf und messen sie durch die Einheit Volt.

Beispiele: Entnehmen wir Strom aus einer Akkumulatorenzelle, so beträgt dessen Spannung 2 Volt. Die Spannung des

Stromes unserer üblichen elektrischen Beleuchtungsanlagen beträgt 110 bis 220 Volt. Die Spannung des Stromes, der sich bei den Induktoren der Röntgenapparate durch eine Luftstrecke von 15 cm ausgleicht, beträgt schätzungsweise 100000 Volt.

Bei gegebenem Wege entsteht infolge der Spannung ein Strom. Die Größe oder Stärke dieses Stromes ist abhängig von der Höhe der Spannung, der treibenden Voltzahl; sie ist ferner abhängig von der Art des Stromweges, der stromleitenden Verbindung zwischen den Punkten.

Die Qualität des Stromweges kann verschieden sein, je nach dem Material, der Dicke und Länge des Leiters. Gemäß der Materialbeschaffenheit und den Ausmessungen der Leitungen können wir von einem Widerstande derselben reden. Je dicker und kürzer die leitende Verbindung ist, desto weniger Widerstand bietet sie dem Strome. Die Größe dieses Widerstandes wird durch die Einheit Ohm (Ω) gemessen.

Beispiele: Eine Quecksilbersäule von 106,3 cm Länge und 1 qmm Stärke besitzt einen Widerstand von 1 Ω. Die Primärspule des Induktoriums unserer Röntgenapparate besitzt etwa $^1/_4$ bis $1^1/_2$ Ω. Die Sekundärspule, welche aus sehr vielen Windungen eines äußerst feinen Drahtes besteht, besitzt etwa 15000 bis 60000 Ω, eine Glühlampe von 16 Kerzen bei 110 Volt besitzt ca. 220 Ω.

Die Intensität eines Stromes ist demgemäß um so beträchtlicher, je höher seine Spannung und je geringer der Widerstand ist, den der Stromweg bietet. Die Einheit der Stromstärke ist das Ampère. Die Zahl der Ampère ist also um so größer, je größer die Voltzahl und je geringer die Ohmzahl ist; $A = \frac{V}{W}$. — Ohmsches Gesetz. (W = Widerstand.)

Beispiele: Der Strom einer 16kerzigen Glühlampe bei 110 Volt ist $^1/_2$ Amp., der Strom eines Platinkauters ca. 10—25 Ampère, der Strom bei der Galvanisation ist ca. 5- bis 10tausendstel Amp. (5—10 Milliampère) stark, weil der Widerstand des menschlichen Körpers sehr groß ist, ebenso zählt die Stärke des Stromes eines Induktors für Röntgenzwecke nach Milliampères, ja nach Bruchteilen von solchen.

7. Die Materialien.

Der Widerstand verschiedener Materialien ist verschieden. Er ist also abhängig von einem Materialwerte (einer Materialkonstanten), den man spezifischen Widerstand nennt; der reziproke Wert des spezifischen Widerstandes heißt „elektrisches Leitvermögen“. Das elektrische Leitvermögen des Silbers ist sehr groß, es folgen in abnehmender Reihenfolge: Kupfer, Aluminium, Messing, Zink, Zinn, Eisen, Neusilber, Nickel, Stahl, Blei, Quecksilber. Der Widerstand, der dem Kupfer eigen ist, der „spezifische“ Widerstand des Kupfers, ist ungefähr der 15. Teil des spezifischen Widerstandes

von Blei, der spezifische Widerstand des Quecksilbers ist noch $4^{1}/_{4}$ mal größer, als der des Bleies.

Die genannten Körper besitzen sämtlich das Vermögen, den elektrischen Strom zu leiten. Andere Körper haben dieses Vermögen nicht, oder besser, ihr Widerstand ist so groß, daß man sie Nichtleiter oder Isolatoren nennt. Solche sind Glas, Glimmer, Ebonit, Paraffin, Kolophonium. Der spezifische Widerstand des vulkanisierten Gummis ist mehrere Milliarden mal größer als der des Quecksilbers. Die Elektrizitätsmengen, die durch vulkanisierten Gummi auch bei sehr hohen Spannungen hindurchgehen, sind infolgedessen so gering, daß man sie gleich 0 setzt. Zwischen den guten Leitern und den Isolatoren stehen Verbindungsglieder. Nahe den guten Leitern oder Leitern erster Klasse stehen die Leiter zweiter Klasse, die Elektrolyte. Es sind dies Lösungen der Salze, Säuren und Basen. Ihr Widerstand ist von ihrer Konzentration abhängig. Ferner gibt es sogenannte Halbleiter, die besser als minderwertige Isolatoren bezeichnet werden: Feuchte Luft, feuchtes Holz, feuchtes Papier.

8. Beispiel eines konstanten Stromverlaufs.

Als Beleg für unsere Entwicklung des elektrischen Stromes benutzen wir das Beispiel einer Akkumulatorenzelle, die aus einer Platte von Bleisuperoxyd und einer solchen von Bleischwamm, in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht, besteht. Aus Gründen chemischer Art besitzt die Superoxydplatte bei der Berührung mit Schwefelsäure ein anderes Potential, als die Bleiplatte; die beiden Platten sind also Punkte verschiedenen Potentials. Werden die Platten durch einen Stromleiter verbunden, so kommt durch die Potentialdifferenz ein Strom zu Stande, der die Spannung 2 Volt besitzt. Dieser Strom fließt vom Punkte höheren Potentials, der Superoxydplatte, zum Punkte niederen Potentials. Der Punkt höheren Potentials wird + Pol, der andere — Pol genannt, obwohl wir es hier nicht eigentlich mit einem Gegensatz, sondern nur mit einer Wertigkeitsdifferenz zu tun haben. Gelangt nun Strom vom Pluspol zum Minuspol, so müßte der erstere von seinem höheren Potential eigentlich dem anderen mitteilen, und die Potentiale müßten gleich werden. Da aber für die geförderte Elektrizitätsmenge aus Bleischwamm Bleioxyd entsteht, so bleiben die Potentiale (vergl. 2) konstant, so lange noch etwas Bleischwamm da ist. Gleichzeitig verwandelt sich die (+) Platte aus Bleisuperoxyd in Bleioxyd und bewahrt ihre elektr. Wertigkeit, solange sie nicht ganz verwandelt ist. Infolgedessen bleibt die Potentialdifferenz konstant, und es kommt (statt eines einmaligen Ausgleiches) ein konstanter Strom zu Stande.

a) Ursache.

Die Stärke dieses Stromes hängt ab von der Spannung 2 Volt und von dem Widerstande des verbindenden Leiters. Ist der Widerstand dieses Leiters sehr klein, so wird die Ampèrezahl sehr groß (Kurzschluß) und die Reaktion im Akkumulator wird so stürmisch, daß er dabei zu Grunde geht.

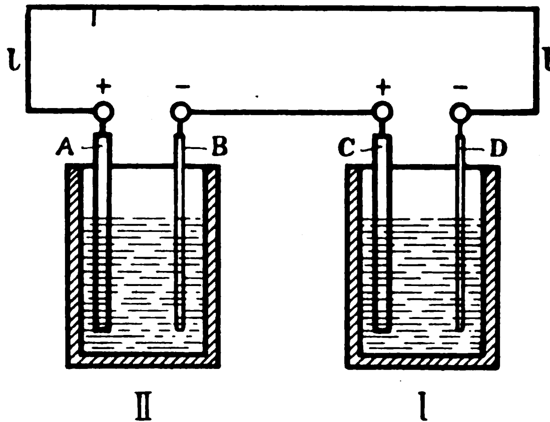
b) Stärke.

Die Stärke des Stromes bei einer Akkumulatorenzelle und die Zeitdauer, durch die er konstant bleibt, ist um so größer, je größer die Bleimenge ist, die in Bleioxyd oxydiert, und die Super-

oxydmenge, die in Oxyd reduziert werden muß. Das Produkt aus Stromstärke und Zeit, während welcher der Akkumulator die Stromstärke leistet, ist dessen Kapazität. Die Kapazität hängt also ab von der Anzahl und Größe der positiven und negativen Bleiplatten und von der Menge Bleischwamm bezw. Bleisuperoxyd, die sie enthalten.

Hat man 2 oder mehrere Akkumulatorenzellen und verbindet die positiven Pole einerseits, die negativen andererseits untereinander, so kann der Strom so lange fließen, bis die chemische Reaktion in allen Zellen vollendet ist. Es addieren sich also die Kapazitäten.

Diese Art von Verbindung der Zellen untereinander heißt Parallelschaltung. Verbindet man bei zwei solchen Akkumulatorenzellen den Pluspol der einen mit dem Minuspol der anderen Zelle, so fließt zwischen den beiden kein Strom. Denn es ist keine Ursache da, keine Potentialdifferenz, weil die Bleiplatten nicht zusammen in einen Elektrolyten tauschen. Dagegen hat der Pol A der Zelle II (Fig. 3) einen Potentialunterschied (2) gegen den Pol B,



Figur 3.

und weil dieser mit C verbunden ist, auch gegen diesen. Der Pol D der Zelle I hat eine Potentialdifferenz gegen C (2), und weil C mit B verbunden ist, auch mit B. Zwischen A und D ist also eine Potentialdifferenz 2+2=4. Wird der Strom zwischen A und D übergeleitet durch die Leitungen *ll*, so besitzt er eine Spannung von 4 Volt. Diese Art Zellen zu verbinden, zu schalten, nennt man Schaltung auf Spannung oder Serien- oder Hintereinanderschaltung. Hier addieren sich die Spannungen. Gruppen von einer kleineren oder größeren Anzahl Zellen parallel oder hintereinandergeschaltet, die häufig in transportable Kästen zusammengebaut werden, nennt man Batterien.

c) Vorgang in der Stromquelle. Innerer Widerstand.

Wenn zwischen den Polen eines Elements ein Strom durch einen Leiter fließt, so vollzieht sich in den Elementen ein chemischer Vorgang als Äquivalent zu dem Strom. Dieser schon an-

gedeutete Vorgang ist nun ein teils elektrischer, teils chemischer. Von der negativen Platte wandern sogenannte Jonen (ἰέναι gehen) zur positiven Platte. Es findet also auch hier ein elektrischer Stromfluß statt, und zwar durch die Säure hindurch. Die Säure ist die leitende Verbindung zwischen den Platten im Elemente. Die Säure hat auch einen Widerstand, da sie, wie wir wissen, ein Leiter zweiter Klasse ist. Wenn also der Strom außen durch einen Leiter von 10 Ω bei einer Spannung von 2 Volt geschlossen wird, so ist die Stromstärke nicht ganz 0,2 Ampère, sondern etwas weniger. Denn zu den 10 Ω kommt noch der Widerstand innen im Element, der sogenannte innere Widerstand. Mag er in diesem Beispiele 0,2 Ω betragen, so ist die Stromstärke nur 0,198 Amp. Der innere Widerstand ist hier so gering, daß er vernachlässigt werden kann. Er ist um so geringer, je größer der Querschnitt des Leiters, also der Säure, und je kürzer der Leiter ist, also je dichter die Platten aneinander gebaut sind. Wir werden noch Beispiele kennen lernen, wo der innere Widerstand sehr groß ist.

9. **Inkonstante Ströme. Eine Wechselstromvorstellung.**

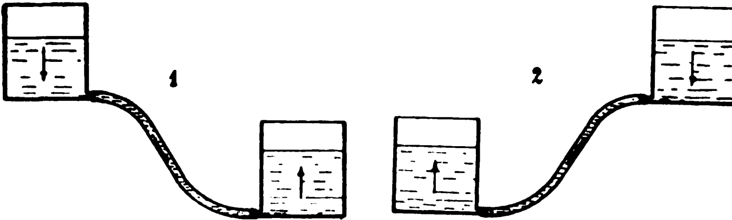
Diese Darstellung eines konstanten Stromverlaufs zeigt zunächst die Notwendigkeit dreier Voraussetzungen zum Ergebnis, dem Energiefluß „Strom": zunächst das Vorhandensein zweier Ausgangspunkte von verschiedenem Potential, der Pole des Stromsystems. Dann eine Ursache in der Natur, die den Potentialunterschied, (die „Spannung") konstant aufrecht erhält, in unserm Beispiele ein chemisches Element. Endlich das Vorhandensein eines für die Energieform Elektrizität gangbaren Weges. Immer, wenn diese drei Voraussetzungen erfüllt sind, und nur dann, entsteht ein kontinuierlicher Stromverlauf, ein Gleichstrom, der solange andauert, als die Voraussetzungen bestehen.

Aber diese Strombildung eines kontinuierlichen Verlaufes in immer gleicher Richtung durch einen Weg ist nur einer der vielen denkbaren, möglichen Fälle. Wird von den Bedingungen eine geändert, so kann das Strombild ein ganz anderes werden.

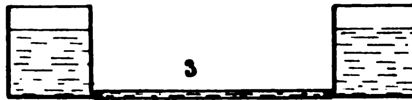
Während nämlich der eben dargestellte Strom (Gleichstrom, kontinuierlicher Strom) einem Wasserlaufe verglichen werden kann, der immer in gleichem Sinne durch einen Rohrweg von einem hochgestellten Reservoir in ein tieferes Becken abfließt, können wir den Verlauf eines Wechselstromes sehr leicht mit folgender Analogie eines Wasserwechselstromes uns klar machen.

Wir denken uns gemäß Figur 4, 5 und 6 zwei Schalen mit Wasser gefüllt. Jede besitzt am tiefsten Punkt eine Öffnung und diese Öffnungen sind durch einen Gummischlauch miteinander verbunden. Wir nehmen die Schalen in die Hände und heben sie, indem wir sie gleichzeitig bewegen, abwechselnd hoch. Dann fließt abwechselnd durch den gleichen Weg von der rechten zur linken, dann der linken zur rechten Seite Wasser, je nachdem die

rechte oder die linke Schale höher liegt; der maximale Wasserdruck und damit auch der stärkste Fluß kommt jeweils zustande, wenn die Höhendifferenz der Schalen am größten ist. Dann nimmt er bei der Annäherung der Schale ab, bis er gleich Null wird, wenn



Figur 4. Figur 5.



Figur 6.

beide Schalen sich begegnen. (Fig. 6.) In diesem Augenblicke kehrt sich auch die Richtung des Stromes im Wege (in dem Schlauche) um. Das Ergebnis ist also ein Hin- und Herpendeln des Wasserstromes.

Diese Vorstellung übertragen wir auf unser elektrisches Stromsystem.

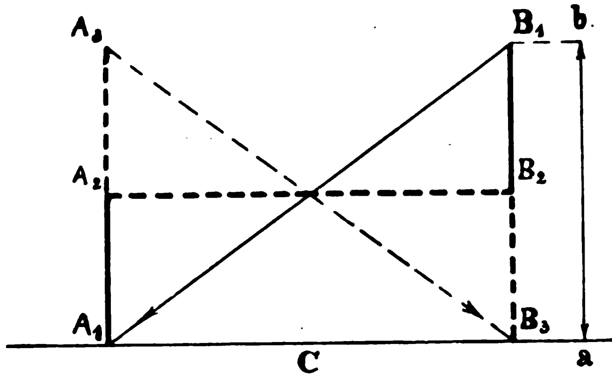
Nehmen wir an, daß das Potential des Punktes von niedriger Wertigkeit wächst, das des andern Punktes abnimmt, so wird die Potentialdifferenz der Punkte und die Spannung des Stromes immer kleiner, ja gleich Null. In diesem Momente fließt kein Strom mehr, weil die Ursache wegfällt (siehe 6 a.) Das Wachsen und Abnehmen der Potentiale steige über diese Wert hinaus. Da der Strom immer in der Richtung von dem Punkte höherer Wertigkeit zum Punkte niederer Wertigkeit fließt, so kehrt er seine Richtung um, er wechselt. Die Spannung des Stromes steigt wieder, bis das Potential des einen Punktes zu einem Maximum gewachsen, das des andern zu einem Minimum gefallen ist. Sind Maximum und Minimum konstant, und ist die Geschwindigkeit der Potentialänderung eine gleichmäßige, so haben wir einen einfachen Wechselstrom vor uns.

Die Variation der Spannung des gewöhnlichen Wechselstromes stellt sich in einer Kurve sehr einfach dar. (Fig. 7.)

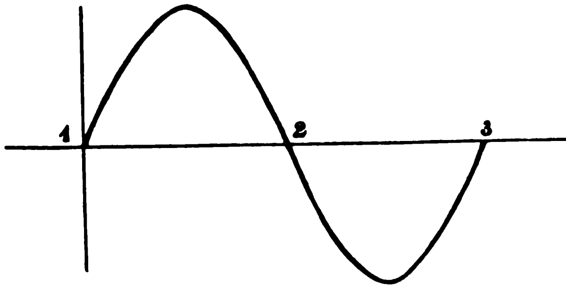
Die Punkte, zwischen denen der Strom fließt (Pole), sind A, B. Die Höhe ihres Potentials ist durch den Abstand von der Grundlinie C gegeben. Sie nehmen zunächst die Stellungen A_1 B_1 ein. Der Strom fließt in der Richtung $B_1 \longrightarrow A_1$ in der

Pfeilrichtung, seine Spannung entspricht der Strecke a b, der Höhendifferenz, d. i. dem Potentialunterschied.

Das Potential des Punktes A nimmt zu, das des Punktes B ab. Der Strom behält wohl seine Richtung, seine Spannung indessen nimmt ab, wie es die Kurve (Fig. 8) zeigt. Sind die Potentiale in der Stellung A_2 B_2, also auf gleicher Potentiallinie, angelangt, so besteht eine Wertigkeitsdifferenz nicht mehr. Die



Figur 7.



Figur 8.

Spannung ist = 0. Beim weiteren Wachsen besitzt Punkt A höheres Potential, und infolge der Spannung fließt der Strom in der Richtung A —→ B. Die Spannung steigt, aber, wie die Kurve andeutet, in umgekehrter Richtung. Sie erreicht wieder ein Maximum in der Stellung A_3 B_3. Dann wiederholt sich das Spiel.

10. Eigenschaften inkonstanter Ströme. Periodenzahl, Wechselzahl, Frequenz.

In dem Augenblicke, wo wir die Potentiale der Punkte A und B als inkonstant annehmen, ergibt sich eine neue Gruppe von Eigenschaften des elektrischen Stromes; er unterscheidet sich nicht nur hinsichtlich Stärke und Spannung, sondern auch nach der Art und Geschwindigkeit mit der die Potentiale der Punkte sich ändern.

Es wird auch nicht mehr möglich sein, aus der Spannung und dem Widerstand ohne weiteres auf die Stärke des Stromes zu schließen.

Jedesmal, wenn die Potentiale einmal gleich geworden sind, kehrt der Strom einmal in seiner Richtung um. Je nach der Geschwindigkeit, mit der die Potentiale auf und ab schwingen, kann die Zahl dieser Wechsel in der Sekunde verschieden sein. Wechselströme können demnach ganz verschiedene Wechselzahlen haben. Die „Wechselzahl“ ist die Häufigkeit der Überschreitung der Null-Linie. Man könnte sie auch Frequenz des Wechselstromes nennen.

Zwischen je 2 solchen Überschreitungen der Null-Linie, solchen Wechseln, liegt eine Stromwelle. Verfolgen wir die Spannungskurve, die zwischen dem 1. und dem 3. Wechsel liegt, so sehen wir den Strom hier alle Spannungen in beiden Richtungen durchlaufen. (Fig. 8.) Bei dem 3. Wechsel geht er wieder in dieselbe Linie, wie nach dem ersten über. Man nennt diesen Kurventeil eine Periode, also die Summe aller Phasen einmal genommen. Eine Periode enthält somit immer 2 Wechsel.

Beispiel: Die Periodenzahl (Zahl der Perioden, in der Sekunde) unserer gewöhnlichen zur Beleuchtung dienenden Wechselströme ist ca. 50 bis 60. Die Zahl der Wechsel ist demnach 100 bis 120. In Amerika geht man in dieser Beziehung viel höher. Dort beträgt die Wechselzahl manchmal das Doppelte.

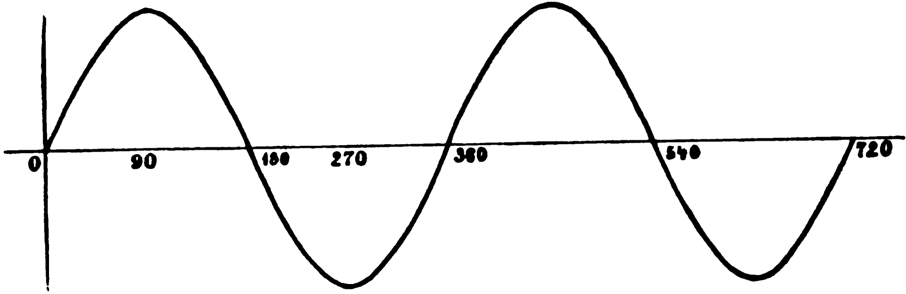
Wenn ein solcher Strom, der immer zwischen zwei Maxima auf und ab schwingt, einer Verbrauchsstelle, z. B. einer Glühlampe, zugeführt wird, so erhält diese eigentlich mehrmals — z. B. 100 mal — in der Sekunde gar keinen Strom und 100 mal einen Stromimpuls. Sie leuchtet also 100 mal in der Sekunde auf. Das Auge sieht aber dennoch ein konstantes Licht, weil der Kohlenfaden in den stromlosen Momenten sich nicht bedeutend abkühlt. Bei Wechselstrom-Bogenlampen kann man das fortwährende Vibrieren des Lichtes schon eher bemerken.

Wenn ein Winkel α von 0 Grad allmählich wächst bis 90°, so wächst der „Sinus“ dieses Winkels auch, und zwar von 0 bis 1. Wächst der Winkel α von 90 bis 180°, so nimmt der Sinus ab, von 1 bis 0. Wächst der Winkel α über 180° hinaus bis 270°, so nimmt der Sinus weiter ab, d. h. er wird negativ bis zur Größe minus 1. Er nimmt wieder zu bis zu Null, wenn α um weitere 90 Grad, bis 360 Grad wächst, und von da ab wiederholt sich das Spiel, bei 450 Grad ist Sinus $\alpha = 1$, bei $540 = 0$ u. s. w.

In der Figur 9 ist dies in Form einer Kurve dargestellt. Die Werte des Begriffes Sinus α schwanken auf und nieder in Form einer Kurve. Der Wechselstrom, den wir oben kennen lernten, beschrieb bei der Änderung der Potentiale eine ganz gleiche Kurve. Deshalb wird ein solcher Wechselstrom auch ein sinusoidaler, sinusähnlicher, die Kurve eine sinusoidale, sinusähnliche genannt. („Sinusoide.“)

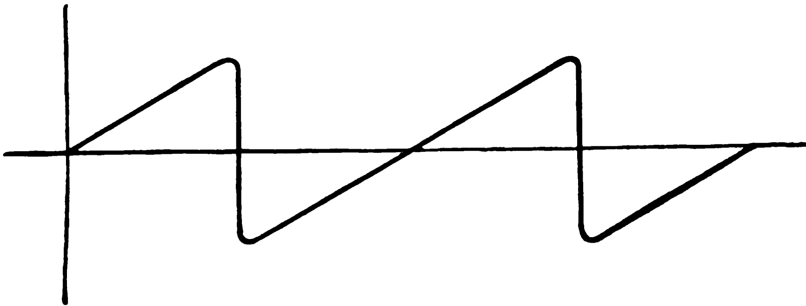
Die Form eines Wechselstromes kann auch durchaus anders sein. Es kann das Ansteigen des Potentials A und das Sinken des

Potentials B sehr langsam und dann die Umkehrung, das Wachsen von B und das Sinken von A sehr schnell gehen. Dann sind die



Figur 9.

beiden Periodenhälften ungleich. Der Strom fällt rasch ab und steigt langsam wieder an — etwa gemäß Fig. 10.



Figur 10.

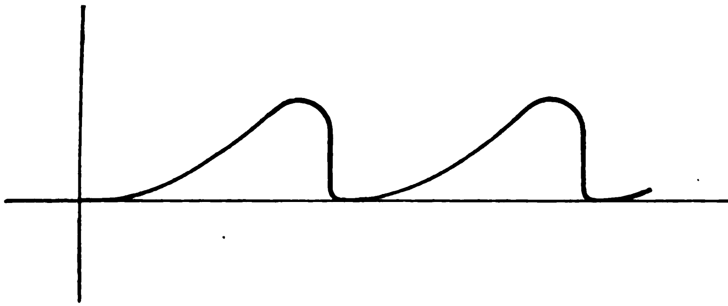
11 Pulsierender Gleichstrom. Wenn von den beiden Potentialen nur das eine variabel ist, das andere sich konstant erhält, so kann der hierdurch entstehende Strom wieder anders geartet sein. Wir wollen von den verschiedenen Möglichkeiten eine herausgreifen: Der Punkt A sei ein Punkt der Erde. Man nimmt übereinkunftsgemäß das Potential der Erde gleich Null an. Das Potential B schwanke zwischen 0 und 100 gleichmäßig auf und ab. Es entsteht für die Spannung des Stromes jetzt eine Kurve, die ganz ähnlich der ersten ist. Aber eines unterscheidet diesen Strom charakteristisch von dem Wechselstrom, den wir kennen lernten. Die Stromkurve sinkt nie unter die Nullinie hinab, weil das Potential B nie kleiner als das Potential A wird, der Strom also in seiner Richtung nicht

wechselt. Dieser Strom ist also **kein** eigentlicher **Wechselstrom**, wenn auch mit ihm eng verwandt. Er ist aber auch kein **konstanter** Gleichstrom, er ist ein **pulsierender Gleichstrom**.

Die Kurve läßt sich gleichfalls auf verschiedene Weise verändern, je nach der Regel, der gemäß das Potential B sich ändert. Eine sehr wichtige Form ist die folgende:

Zuerst ist auch das Potential B äqual Null. Sodann steigt es bis zu einem gewissen Grade, nimmt zuerst langsam, dann rasch bis 0 ab. Es bleibt einige Zeit Null und steigt dann wieder in der geschilderten Weise. (Fig. 11.)

Dieser Kurve des **intermittierenden Gleichstromes**



Figur 11.

werden wir noch des öfteren begegnen. Sie entsteht, wenn ein Strom durch einen sogenannten Unterbrecher regelmäßig eingeschaltet und unterbrochen wird.

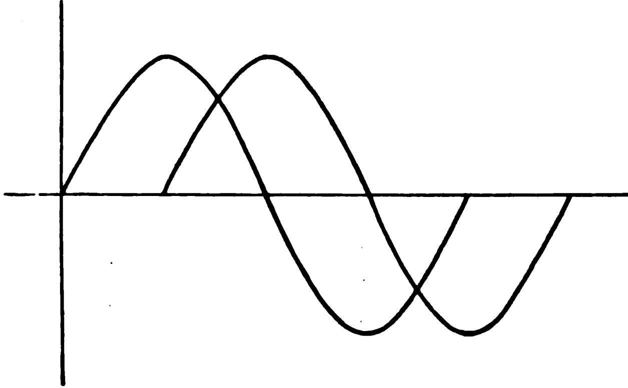
Alle diese Stromgattungen und ihre Modifikationen haben das Gemeinsame, daß ihre Phase, das heißt ihr momentaner Zustand, sich ändert, und zwar, wie wir bis jetzt gesehen haben, ihre Spannungsphase. Denn alle Kurven bezogen sich auf die Spannungen der Ströme.

Die Intensität solcher inkonstanter Ströme ist natürlich eine andere wie die der Gleichströme. **12. Die Effektivgröße.**

In jedem unendlich kurzen Zeitabschnitte, in dem die Spannung durch die momentane Potentialdifferenz festgelegt ist, entspricht ihr und der Natur des Leiters eine gewisse Stromstärke. Aber in dem folgenden Moment ist die Spannung und mit dieser die Stromstärke eine andere und schwingt zwischen den verschiedenen Werten auf und ab.

Die Größe eines Wechselstromes bestimmt sich nicht aus den Höchstwerten, den „Amplituden", seiner Kurve, sondern nach Mittelwerten, die nach einer bestimmten Formel erhalten werden: **Wertspannung** und **Wertstrom**, auch **effektive** Spannung und **effektiver** Strom genannt. Unsere Messinstrumente für Wechselstrom zeigen diese Werte.

13a. Phasenverschiebung. Die Stärke des Stromes in jedem Augenblicke entspricht der Spannung in diesem Augenblicke, nach dem Ohm'schen Gesetz. Es gibt indessen Leiter (die wir später genauer studieren werden), bei denen das Anwachsen und Abfallen der Stromstärke aufgehalten, verzögert wird. Es entspricht also hier die Stärke des Stromes in einem bestimmten Momente der Spannung des



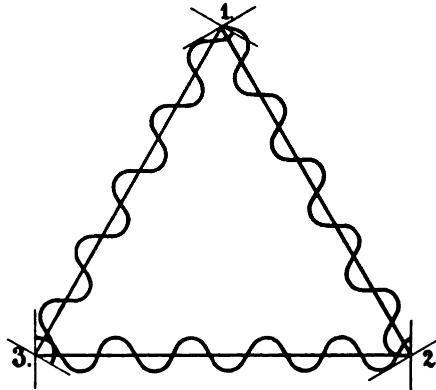
Figur 12.

voraufgegangenen Momentes. (Fig. 12.) Die Stromstärke wächst erst, nachdem die Spannung schon vorher gewachsen, und wächst noch, wenn die Spannung schon wieder sinkt. Spannung und Strom kehren nacheinander ihre Richtung um, kurz, sie sind in ihren momentanen Zuständen verschieden. Die Kurve des Stromes besitzt „Phasenverschiebung“ gegenüber der Kurve der Spannung.

Sind die Kurven sinusoid (s. 10), so entsprechen sie den Sinuswerten zweier Winkel, von denen der eine schon eine bestimmte Größe, sagen wir 45°, erreicht hat, wenn der andere von Null an wächst. Im Verlauf der Kurve bleibt der Sinuswert immer in derselben Weise zurück, weil sein Winkel immer um 45° kleiner ist. Man mißt daher in solchem Falle die Phasenverschiebung nach Graden und sagt, die beiden Kurven seien in ihrer Phase um 45° verschoben. Beträgt die Phasenverschiebung 90°, so fängt die Stromkurve gerade von 0 an zu wachsen, wenn die Spannung vom Maximum an zu fallen beginnt (Fig. 12). Sind sie um 180° verschoben, so erreicht die Spannungskurve ihren positiven Maximalwert, wenn die Stromkurve ihren negativen Maximalwert hat.

13b. Mehrphasenströme. Man kann sich außer zwei Punkten, deren Potentiale wachsen und abnehmen, auch noch einen dritten und mehrere denken, deren

Potentiale auch sich ändern. Ist diese Änderung so, daß das Potential jedes Punktes in jedem Momente ein anderes ist, als das jedes anderen Punktes, so muß, leitende Verbindungen vorausgesetzt, zwischen den drei Punkten ein Strom fließen. Es fließen 3 Ströme (Fig. 13), und die Kurven sind alle verschoben. Man nennt diese Ströme Mehrphasenströme.



Figur 13.

In der Technik wird der Dreiphasenstrom oder Drehstrom viel verwendet zu Lichtzwecken. Röntgenapparate, die mit Dreiphasenstrom getrieben werden müssen, werden nur an 2 Leitungen angeschlossen und erhalten somit einfachen Wechselstrom. Wir haben uns daher mit Drehstrom nicht zu befassen.

In der Elektrostatik lernen wir die Elektrizität kennen als Eigenschaft eines Körpers, in der Elektrodynamik betrachten wir sie an und für sich als Strom. 14. Resumé.

Drei Voraussetzungen bedingen das Zustandekommen eines Stromes: Das Vorhandensein zweier Punkte (Pole) verschiedener elektrischer Wertigkeit (Wertigkeitsdifferenz, Potentialdifferenz, Spannung). Sodann eine Ursache in der Natur (irgend eine vorausgehende Energietransformation, wie die chemisch-elektrische des Elementes, die kinetisch-elektrische der Dynamomaschine), welche diese Spannung konstant oder nach einem bestimmten Gesetze ändernd aufrecht erhält. (Gleichstrom — inkonstanter, insbesondere Wechselstrom); endlich ein für die Energieform Elektrizität gangbarer Weg (Leiter). Die Größe des fließenden Stromes, also des Resultates dieser drei Bedingungen, die in Ampères gemessen wird, ist gegeben durch das Ohm'sche Gesetz. Sie ist um so bedeutender, je erheblicher die Ursache, das Maß der Spannung, die Voltzahl ist und wird umgekehrt um so kleiner, je höherer Gesamtwiderstand sich dem Stromereignisse entgegenstellt.

Bei den inkonstanten Strömen ist außer den genannten Bestimmungsstücken auch die Form des Stromes, seine Kurve, dann die Geschwindigkeit seines Schwingens, seine Perioden- und Wechselzahl (wenn es ein Wechselstrom ist), seine Frequenz (wenn es ein intermittierender Gleichstrom ist), zu betrachten.

Hiermit haben wir uns Vorstellungen über die elektrische Energieform gebildet. Wir wenden uns nun zur Betrachtung der Energieform Röntgenstrahlen zu.

B.

Von den Energieformen der Entladungsröhre.

(Anodenlicht, Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen.)

15. Hochgespannte Elektrizität gleicher Richtung in verschiedenen Stromwegen.

Zum Studium der Erscheinungen in der Röntgenröhre gehen wir von folgender Annahme aus:

Irgend ein Vorgang in der Natur gebe uns zwei elektrische Örter von sehr verschiedenem Potential (z. B. die Pole einer Elektrisiermaschine oder einer in Serie geschalteten Batterie von einigen tausend Elementen). Die Potentialdifferenz zwischen den Örtern sei eine außergewöhnlich hohe, betrage viele tausend, ja hunderttausend und mehr Volt. Auch sei die Spannung eine während der Beobachtungsdauer konstante (vergl. 8). Was geschieht, wenn diese hohe elektrische Spannung durch Stromwege verschiedener Art zur Strombildung herangezogen wird, was, wenn in dem stromleitenden Draht zunächst eine Lücke besteht, ein Luftspalt, und was geschieht weiter, wenn dieser Luftspalt, der ja Luft von atmosphärischem Druck enthält, ersetzt wird durch gasarme Räume?

Reine Gase sind Isolatoren (vergl. 7) für elektrischen Energiefluß. Atmosphärische Luft ist nicht ganz rein, wird für so außerordentlich hohe Spannungen zum Stromweg.

In der Luft gleichen sich die Entladungen hochgespannter Elektrizität in Form langgestreckter leuchtender Funken aus. Die Intensität der Funkenschläge läßt sich einigermaßen aus Form und Farbe dieser Funken schließen. Die dunkelblaue Farbe deutet auf geringere Intensität hin, während leuchtendblaue, weißliche und rote, starke, raupenförmige Entladungen größere Intensitäten anzeigen.

a) in der Luftstrecke.

Das Bild des Funkens entsteht durch glühende Luft. Der Übergang des Stromes vollzieht sich sehr rasch und unter starker

Erwärmung des Stromweges. Streifen oder (vielleicht) Röhrchen weißglühender Luft bilden das Phänomen des elektrischen Funkenüberganges.

Allgemein läßt sich noch sagen, daß die Entladungen hochgespannter Elektrizität sehr schmerzhaft sind und daß ihre Schmerzhaftigkeit mit Spannung und Intensität des Stromes zunimmt.

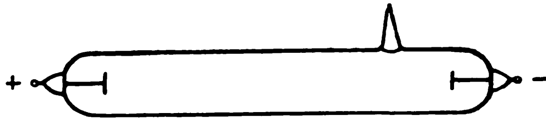
Die Länge der Luftstrecke, durch die hindurch der Strom sich auszugleichen im Stande ist, hängt von der Spannung ab. Man spricht in diesem Sinne von der „Schlagweite" einer Quelle hochgespannter Elektrizität (Elektrisiermaschine, Induktorium) und meint damit die maximale Länge der Luftstrecke, durch die der Funkenübergang stattfindet.

b) in luftarmen Räumen.

Sofort ändert sich jedoch die Entladungserscheinung, wenn diese Ströme nicht mehr bei atmosphärischem Drucke, sondern in mehr oder weniger evakuierten Räumen vor sich gehen.

Der Luftdruck wird gemessen durch die Höhe einer Quecksilbersäule, deren Schwere er äquivalent ist. (Barometer.) Der atmosphärische normale Luftdruck entspricht ca. 760 mm Quecksilbersäule.

Zur Untersuchung der Entladungen dienen Glasröhren, in denen metallische Leiter, Elektroden, eingeschmolzen sind. (Fig. 14.)



Figur 14.

Die mit dem positiven Pole des Induktoriums verbundene Elektrode heißt Anode, die mit dem negativen Pole verbundene Kathode.

Wird der Luftdruck durch Evakuieren geringer, so sinkt der Widerstand, den die Luftstrecke bietet, die Funken überbrücken einen größeren und immer größeren Raum. Allmählich beginnen sie sich zu verbreitern und in Lichtbänder überzugehen.

Bei immer abnehmendem Luftdruck — etwa noch 5 mm Quecksilbersäule entsprechend — stellt sich das Phänomen des Geißlerlichtes ein. Von der Anode geht ein eigentümlich geschichtetes rötliches Licht zur Kathode, jedoch nicht ganz bis zu ihr heran. Die Kathode ist mit bläulichem Glimmlicht umgeben.

Wächst das Vakuum immer weiter, so weicht das Geißlerlicht mehr und mehr von der Kathode zurück. Vor dieser entsteht ein dunkler Raum, der allmählich einen immer größeren Teil der Röhre ausfüllt und das Geißlerlicht immer weiter zurückdrängt.

Endlich ist dieses fast ganz verschwunden und nun zeigen

die Glaswände, die der Kathode gegenüberliegen, eine Fluoreszenz, die nach der Natur des Glases manchmal blaue, meist aber grünliche Färbung besitzt. Als Ursache dieser Erscheinung wurde eine von der Kathode ausgehende Strahlenart, die Kathodenstrahlen, erkannt.

16. Geißlerlicht u. Kathodenstrahlung.

Es ist hier nicht der Platz, auf die überaus reichen und interessanten Phänomene des Geißlerlichtes und der Kathodenstrahlung einzugehen. Die Entdecker der Kathodenstrahlen (die nur im Beginn ihrer Entstehung bei ziemlich reichem Luftinhalte der Röhre sichtbar sind, bei höherem Vakuum lediglich durch ihre Wirkungen sich manifestieren) sind Plücker und Hittorf. Einer der bedeutendsten Experimentaluntersucher dieses Gebietes ist der Engländer Crookes, der insbesondere durch seine Theorie der „strahlenden Materie" oder des „vierten Aggregatszustandes" bekannt wurde (1874). (Vergl. Kompendium der Röntgenographie von Dessauer und Wiesner, Verlag von O. Nemnich, Leipzig. Desgl. die vorzügliche Schrift von G. J. Schmidt „Die Kathodenstrahlen", welche als zweites Heft der Sammlung „Die Wissenschaft" im Verlage von Friedrich Vieweg in Braunschweig erschienen ist).

Die Arbeiten über Kathodenstrahlung sind unübersehbar zahlreich. Wohl keine Erscheinung hat in solchem Maße die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gezogen, keine verhältnismäßig so reiche literarische Behandlung gefunden wie sie.

Die Lösung der durch dieses Phänomen entstandenen Rätsel gibt nach voraufgegangenen Theorien von Hertz, Goldstein, Jaumann, E. Wiedemann und Ebert (Äthertheorie), gleichzeitig von J. J. Thompson, Wichert, Crookes (Emissionstheorie), nach den elektrolytischen Theorien von Hittorf, Crookes und insbesondere Schuster endlich die ausgebaute Elektronentheorie, die ja in der Tat grundlegend für unsere ganze gegenwärtige und zukünftige physikalische Forschung zu werden scheint.

17. Theorien der Kathodenstrahlung. Elektronentheorie.

Hittorf, der wohl auch als eigentlicher Entdecker der Kathodenstrahlung zu gelten hat, nahm seine Auffassung von dem neu erschlossenen Gebiet der Elektrochemie, das auf Grund der Dissoziationstheorie (Svante Arrhenius, van t'Hoff etc.) die den elektrischen Transport in Elektrolyten zum Gegenstande hat, große Entwicklung nahm. Die Moleküle der wäßrigen Lösungen von Salzen, Säuren und Basen zerfallen nach ihr in Molekülteile. Jedes Molekülteil ist elektrisch und zwar entweder positiv oder negativ, das Molekül selbst, das ein positives und ein negatives Teilchen enthält, unelektrisch. Vermöge ihrer Ladung wandern die Molekülteile zu entgegengesetzt elektrischen Stellen in der Flüssigkeit (eintauchende Metallelektroden), sie werden „Wandernde" „ἰόντες", Jonen.

Aus der Schuster'schen Theorie ergab sich als Konsequenz, daß die Gasatome in den Räumen äußerster Verdünnung sich in noch kleinere Substitute, die sogenannten Elektronen auflösen müssen, daß also das Atom nicht der kleinste Baustein der Materie sein könne. Die Eelektronentheorie lehrt weiter, daß die Elektronen zugleich die Träger einer Einheit der Elektrizitätsmenge sind. Solcher Elektronen besitzen die Atome gleichviel positive und negative, so daß die elektrischen Wirkungen sich gegenseitig aufheben, die Atome also nicht elektrisch geladen erscheinen. Durch irgend eine Ursache kann nun ein Elektron, und zwar ein negatives, frei werden und vermöge seiner Ladung wandern. Dann heißt es Jon (ἰέναι gehen), und zwar Anion, wenn es vermöge seiner negativen Ladung zur Anode hinwandert (ἀνὰ und ἰέναι); Kation mit einer überschüssigen positiven Ladung heißt die übrigbleibende Elektronengruppe des dissoziierten Atoms.

Alle Unterscheidungen der Elemente sind nach den Lehren der Chemie durch die Verschiedenheit der Atome begründet. Das, was ein Element eben zu einem Element macht, es von jedem anderen Element völlig scheidet, ist die Eigenart seines Atomes. Ein rein dargestelltes Element (ein Stück reines Eisen zum Beispiel) enthält nur Atome seiner Art (Fe), keine anders gearteten. Alle Atome eines Elements sind untereinander gleich.

Durch Kombination von verschiedenartigen Atome zu kleinen materiellen Substituten, zu Molekülen, entsteht der zusammengesetzte Körper in seiner millionenhaften Variation in der Welt. Die Atome gruppieren sich nach bestimmten Gesetzen zu Molekülen. Chemie ist „Mechanik der Atome".

Die Elektronentheorie führt nun die etwa 70 verschiedenen Grundformen des Stoffes, die verschiedenen Elementatome auf einen Urbaustein zurück. Denn alle Elektronen sind (abgesehen von ihrer elektrischen Ladung) untereinander gleich. Nur dadurch, daß sie in verschiedener Gruppierung zusammentreten, erklärt sich die Verschiedenheit der Atome. Ein Radium-Atom enthält viel mehr Elektronen, als ein Wasserstoffatom. Aber der Baustein beider — das Elektron des Radiums und das Elektron des Wasserstoffs sind gleich.

Es handelt sich also um einen tiefliegenden Monismus der Materie, die Zurückführung der gesamten Materie auf einen einzigen Urbaustein.

18. Die Disoziation im Entladungsrohr. Eigenschaften der Kathodenstrahlen.

In der Entladungsröhre, die nur noch einen überaus winzigen Bruchteil des ursprünglich enthaltenen Gases in sich schliesst, wird am Austrittsorte der Elektrizität das Gasatom zerspalten. Negative Elektronen wandern senkrecht zur Ebene ihrer Entstehung gerad-

linig weiter, erfahren bei ihrer Wanderung infolge des Stromdruckes (Stromgefälles) eine fortwährende Beschleunigung. Wo sie auftreffen, laden sie negative Elektrizität ab, erwärmen die getroffene Partien und bringen sie zur Fluoreszens. Durch Einlagen von verschiedenen Mineralien in die evakuierte Röhre lassen sich die schönsten Fluoreszensexperimente anstellen. Die Ladung der getroffenen Wände erklärt sich aus der negativenLadung derKathodenstrahlen-Elektronen. Die Erwärmung und Fluoreszenserregung wird durch die Elektronentheorie dahin gedeutet, daß beim Auftreffen und Eindringen der Kathodenstrahlung die Moleküle des Glases oder der affizierten Substanzen aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht um diese schwingen. Von der Schwingungsamplitude hängt dann nach der Wellentheorie die Äußerung auf unsere Sinne (Wärme und Farbe) ab.

Negativ geladene Flächen stoßen die Kathodenstrahlung ab. Man kann die Bildung der Kathodenstrahlung infolgedessen allein dadurch unterdrücken, dass man sie in der unmittelbaren Nachbarschaft ihrer Entstehung auf Flächen auftreffen läßt. Diese laden sich dann elektrisch negativ und stoßen die herandringenden Kathodenstrahlen zurück. (Prinzip der Drosselröhre).

Auf dem gleichen Prinzip der Ladung durch Kathodenstrahlen beruhen bekannte Experimente mit im Entladungsrohr eingeschlossenen leicht beweglichen Rädchen.

Die Kathodenstrahlen werden im freien Raum rasch absorbiert. Lenard ließ sie durch ein äußerst dünnes Aluminiumplättchen, das als Rohrwand diente, ins Freie heraustreten. Sie pflanzen sich dann nur ganz kurze Strecken in der Luft fort.

Der Magnet wirkt auf Kathodenstrahlen ablenkend. Sie verhalten sich eben wie ein Elektrizitätstransport durch einen sehr biegsamen nur an einem Ende befestigten Leiter. Alle diese Phänomene lassen sich aus der Elektronentheorie ohne Schwierigkeit erklären.

Naturnotwendig müssen bei der Erzeugung von Kathodenstrahlen, also der Ausfällung negativer Elektronen aus dem Atom, Reste mit einem Überschuß positiver Elektronen, also Atomteile mit ausgesprochen positiv elektrischem Charakter auftreten. Diese fand Goldstein in den nach der experimentellen Anordnung benannten Kanalstrahlen, einem Strome positiver Jonen.

Je höher das Vakuum des Entladungsrohres seit dem erstmaligen Auftreten der Kathodenstrahlung gesteigert wird, desto mehr wächst nun auch der Widerstand, den das Rohr dem Stromdurchgange entgegensetzt. Die Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen durch den Magneten und durch ein elektrestatisches Feld wird geringer; die Strahlung ist unsichtbar geworden, äußert sich nur

durch ihre Wirkungen. In diesem Stadium geschieht nun etwas Neues.

Von den durch Kathodenstrahlung getroffenen Teilchen geht eine neue unsichtbare Strahlenart aus, die sich geradlinig nach allen Richtungen in den freien Raum hinaus fortpflanzt. Diese neuen Strahlen von Wilhelm Conrad Röntgen in Würzburg 1895 entdeckt, stellen wahrscheinlich auch eine Ätherbewegung dar. Aber im Gegensatz zu den kontinuierlichen Äther-Schwingungen elektromagnetischer Art, die als Wärme, Licht und chemische Strahlung bekannt sind, handelt es sich hier um plötzliche, disruptive Impulse von hoher Energie und sehr kleiner Amplitude. Vermöge der Kleinheit der Impulse und ihrer hohen Energie durchdringen diese Strahlen, die Röntgenstrahlen oder X-Strahlen, alle Körper. Die Elemente (mit einigen Ausnahmen) im umgekehrten Verhältnis ihres Atomgewichtes, die zusammengesetzten Körper im umgekehrten Verhältnis der Dichte. Also, je dichter, spezifisch schwerer, ein Körper ist, desto mehr absorbiert er die X-Strahlen, desto weniger wird er von ihnen durchdrungen. 19. X-Strahlen

Die X-Strahlen besitzen eine chemische Wirkung, bringen gewisse mineralische Salze, wie wolframsaures Kalzium, Kalium- und Bariumplatincyanür zur Fluoreszenz, bringen analoge Wirkungen auf dem Bromsilber (Jod- und Chlorsilber) photographischer Platten hervor wie das Licht.

Sie sind nicht wie Lichtstrahlen in Linsen sammelbar oder gesetzmäßig reflektierbar. Dagegen erleiden sie in den Körpern, die sie durchdringen, eine starke Diffusion.

Außerdem entstehen in allen von X-Strahlen durchdrungenen Stoffen, — im Glas der Röhre, in der durchwanderten Luft, in dem Objekte, der Platte, in der ganzen Umgebung — neue Strahlen, die komplexer (zusammengesetzter) Natur sind. Sie bestehen aus diffus abgelenkter X-Strahlung, aus ultravioletten Schwingungen und aus Kathodenstrahlen. Die Gesamtheit dieser Wirkungen, also die diffuse Ablenkung der primären X-Strahlen, die Kathodenstrahlenerzeugung und ultraviolette Lichtbildung, die in der von X-Strahlen durchwanderten Stoffen auftreten, bezeichnet man als Sekundär- (S-) Strahlung (Sagnac). Die S-Strahlung ist ein schädlicher Faktor in dem Verfahren. 20. Sekundärstrahlen.

Geht also von einer Entladungsröhre X-Strahlung aus, und durchwandert Stoffe, so gilt folgendes:

1. Die X-Strahlen gehen von den Stellen der Röhre aus, die von Kathodenstrahlen bei hohem Evakuationsgrad der Röhre getroffen werden und zwar pflanzen sie sich geradlinig von diesen Stellen nach allen Richtungen hin fort.

2. Die X-Strahlung dringt teils durch die Stoffe hindurch, teils wird sie absorbiert, teils zur Sekundärstrahlenbildung verbraucht. Die Absorption, welche die X-Strahlen erleiden, entspricht im Allgemeinen der Dichte der durchwanderten Medien.

3. In manchen getroffenen Chemikalien — z. B. Bariumplatincyanür — erzeugen die Strahlen Fluoreszenz, in photographischen Negativ-Emulsionen chemische Wirkungen ähnlich dem Licht.

21. Die Strahlenerzeuger (Röntgenröhren).

Die frühere Form der Strahlenerzeuger, der Röntgenröhren entsprach etwa Figur 15.

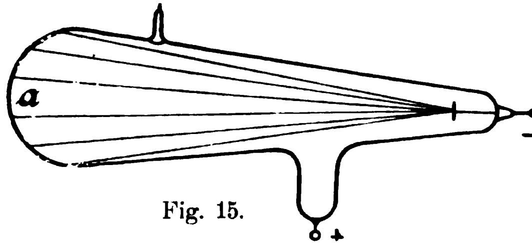


Fig. 15.

Die X-Strahlen gingen hierbei von der Glaswand a, die der Kathode gegenüberlag, aus und durchdrangen die Körper, um dann zu der photographischen Platte oder zum Durchleuchtungsschirme zu gelangen und dort die Dichtigkeitsverhältnisse zu projizieren.

22. Über Projektion.

Es ist hier am Platze, einige kurze Bemerkungen über Projektion einzufügen: — Je nachdem die projizierenden Strahlen parallel zu einander verlaufen, oder alle von einem Punkte, dem Zentrum der Projektion, ausgehen, unterscheidet man Parallel- und Zentralprojektion. Für jene ist das nächstliegende Beispiel das Sonnenlicht, dessen Strahlen wir bei der großen Entfernung ihres Ausgangsortes als parallel auffassen. Der Schatten, den eine Kerze von einem Gegenstande entwirft, entspricht einer Zentralprojektion, mit der Kerzenflamme als Projektionszentrum.

Bei der Zentralprojektion ist das Bild des Gegenstandes stets vergrößert, und zwar umsomehr, je näher es dem Projektionszentrum liegt, und je weiter er von der Projektionsebene entfernt ist.

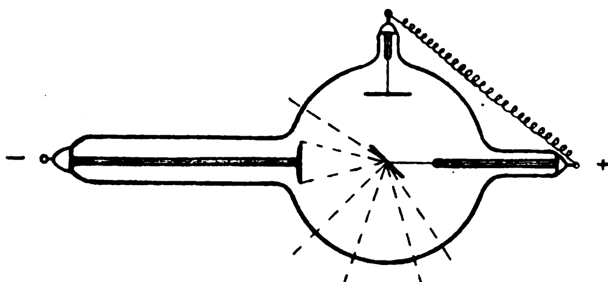
23. Projektion mit X-Strahlen.

Die Projektion mit X-Strahlen ist eine Zentralprojektion. Jeder Punkt, der von den Kathodenstrahlen getroffen wird, sendet X-Strahlen nach allen Richtungen aus, Radien, die von ihm wie vom Mittelpunkte einer Kugel ausgehen.

Bei der in Figur 15 dargestellten Röhrenanordnung war jeder Punkt der von den Kathodenstrahlen getroffenen Glaswand a Ausgangspunkt der X-Strahlen, Projektionszentrum, entwarf jeder Punkt

vom abzubildenden Körper eine vollständige Projektion. Diese Bilder konnten sich nicht decken und es entstanden äußerst unscharfe, verschwommene Durchleuchtungen und Aufnahmen.

Eine ideale Zentralprojektion verlangt, daß die Strahlen tatsächlich von einem Punkte ausgehen, und diese Notwendigkeit gab Veranlassung zur Wahl der jetzt allgemein und ausschließlich angenommenen Konstruktion der Röntgenröhre. (Fig. 16.) 24. Die Strahlenerzeuger. Fortsetzung.



Figur 16.

Als negative Elektrode und Ausgangspunkt der Kathodenstrahlen dient ein Hohlspiegel, dessen Krümmungsmittelpunkt auf einer unter etwa 45° zur Längsachse der Röhre geneigten Scheibe aus Platin, der sogenannten Antikathode, liegt. Die Kathodenstrahlen gehen senkrecht zu ihrem Ausgangsorte fort und treffen in diesem Krümmungsmittelpunkte zusammen. Dieser Punkt, der (fälschlich) sogenannte Fokus oder Brennpunkt der Antikathode, ist der Ausgangspunkt der X-Strahlen, das Projektionszentrum. Von ihm aus, wie vom Mittelpunkt einer Halbkugel, gehen die X-Strahlen nach allen Richtungen. Der vor der Antikathodenscheibe liegende Teil der Halbkugel fluoresziert dabei grün.

Die Ursache dieser grünen Fluoreszenz sind nicht etwa X-Strahlen sondern „reflektierte“ Kathodenstrahlen. Diese sogenannte Reflexion der Kathodenstrahlung ist aber nicht etwa eine Reflexion wie die des Lichtes.

Man hat sich vielmehr vorzustellen, daß die von Kathodenstrahlen getroffene Antikathode selbst ihrerseits Kathodenstrahlen aussendet, die auf die gegenüberliegende Glaswand auftreffen, sie zur Fluoreszens bringen und so das Rohr in eine leuchtende und eine dunkle Halbkugel teilen.

Die Antikathode dient zugleich als positiver Pol, als Anode der Röhre. Aus empirischen Gründen gibt man der Röhre häufig

noch eine zweite, eine sogenannte Hilfsanode, die mit der Antikathode in leitender Verbindung steht. Endlich besitzt jede Röhre noch einen Glasansatz da, wo bei ihrer Evakuation die Luftpumpe angesetzt war. Dieser zugeschmolzene Glasansatz ist naturgemäß der empfindlichste und zerbrechlichste Teil der Röhre.

25. Notwendigkeit gleichgerichteter Impulse.

Aus dieser Anordnung der Elektroden einer Röntgenröhre ergibt sich ohne weiteres, daß sie nur dann ordnungsmäßig funktionieren kann, wenn der Strom immer in der gleichen Richtung durch die Röhre hindurchtritt, was wir ja am Eingang dieses Kapitels voraussetzten. Würde ein Stromimpuls umgekehrt verlaufen, also bei der hohlspiegelförmigen Elektrode eintreten und bei der Antikathode austreten, so würde diese zugleich mit der Hilfsanode negativer Pol, Austrittspunkt des Stromes werden. Hier würden dann Kathodenstrahlen entstehen, die an den verschiedenen Stellen der Röhrenglaswand auftreffend, dort X-Strahlung erzeugten. Die Zentralprojektion und damit die Möglichkeit einer brauchbaren Bildgabe wäre vernichtet. Außerdem würde durch solche verkehrt durch die Röhre gehenden Impulse eine Reihe von Schädlichkeiten im Betrieb sich ergeben, die wir später (Schließungsinduktion) noch besonders besprechen werden.

Deshalb läßt sich aus der Entstehungsweise der Röntgenstrahlen in der gegenwärtig benutzten Röhrenkonstruktion die Forderung ableiten, daß der Strom die Röhre stets im gleichen Sinne durchfließen muß.

26. Fortsetz. Die Nebenwirkungen und die Widerstandskraft der Röhre.

Die auftreffenden Kathodenstrahlen bringen auf der Antikathode nicht nur Röntgenstrahlen, sondern auch andere Effekte und zwar Erwärmung und Zerstäubung, hervor, Nebenwirkungen, die störend und daher möglichst zu beseitigen oder in ihrer Schädlichkeit abzuschwächen sind.

Wird der Antikathodenspiegel stark erhitzt, oder gar hellrotglühend, so gibt er Gas ab und reduziert so das Vakuum der Röhre, unter Umständen derart, daß gar keine X-Strahlen, sondern Geißlerlicht auftritt. Zugleich zerstäubt das Metall der Antikathode, umsomehr, je heißer sie ist. Der Metallstaub schlägt sich an den Wänden nieder und okkludiert beim Erkalten Gas, so daß hiebei das Vakuum in der Röhre höher wird, der Widerstand also wächst.

So ergibt sich der konstruktive Gesichtspunkt, die Antikathode gegen Erwärmung möglichst widerstandsfähig zu machen, sei es, daß man sie mit dicken Metallklötzen aus Kupfer oder Eisen hinterlegt, in Wärme ableitende Hüllen einfügt oder ihre Rückwand durch Wasser kühlt. Alle diese Methoden sind anwendbar und werden angewendet. Jede gibt gewisse günstige Resultate. Über ihre Brauchbarkeit wird im II. Teile näheres zu finden sein.

Wenn tatsächlich die Bildung der Kathodenstrahlen und X-Strahlen auf einen Dissoziationsvorgang zurückzuführen ist, so muß die Menge der in einer Röhre erzeugbaren X-Strahlen abhängen von der Menge der eingeschlossenen Gasatome, die dissoziirt werden können. Das Vakuum und damit die Gasmenge in der Volumeinheit der Röhre ist nicht ohne weiteres zu verändern, denn die Entstehung der X-Strahlen und Kathodenstrahlen ist an ein bestimmtes Vakuum gebunden. Soll demnach die Menge der in einer Röhre erzeugbaren X-Strahlen möglichst groß sein, so muß das Volum der Röhre groß gewählt werden. Tatsächlich können in Röhren um so mehr Strahlen erzeugt werden, je größer ihr Volum ist.*) 27. Fortsetz. Die Menge der erzeugbaren X-Strahlen.

Die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen hängt von der Röhre in hohem Grade ab, und zwar besteht zwischen dem Widerstande einer Röhre, ihrem Vakuum, der Menge und Durchdringungsfähigkeit der erzeugten Strahlen folgender, durch die Erfahrung gelehrter Zusammenhang. 28. Fortsetz. Die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen und die Röhre.

Mit wachsendem Vakuum der Röhre nimmt ihr Widerstand zu. Zugleich wächst die Durchdringungsfähigkeit der Strahlen, während die Strahlenmenge abnimmt.

Mit wachsender Durchdringungsfähigkeit der Strahlen nimmt ihre chemische Wirkung sehr rasch ab, die störende Sekundärstrahlenbildung hingegen wächst.

In einer Röhre entstehen beim Stromdurchgang nicht Strahlen eines einzigen bestimmten Grades der Durchdringungsfähigkeit; vielmehr sind die auftretenden Strahlen in dieser Beziehung verschieden, es werden gleichzeitig mehr und weniger durchdringungskräftige erzeugt. Dies ist auch für Erzeugung der überaus feinen Bilder, wie sie das Röntgenverfahren liefert und welche die detailliertesten Knochenstrukturen wiedergeben, wichtig.

Die gleichzeitig auftretenden Strahlen liegen hinsichtlich ihrer Durchdringungsfähigkeit jedoch innerhalb gewisser Grenzen, und diese Grenzen werden hinaufgeschoben mit Zunahme des Vakuums der Röhre.

Man kann deshalb von einer mittleren Penetrationskraft der Strahlen einer Röhre, von einem mittleren momentanen Strahlencharakter sprechen.

Die Größe der Durchdringungsfähigkeit ist bei der Durchleuchtung des Menschen an die Grenzen geknüpft, welche eben die Dicke der menschlichen Organe zieht. Strahlen, welche die Knochen-

---

*) Vergl. auch die Arbeit des Verfassers: „Über Röntgenröhren", Zeitschrift f. Elektrotherapie Heft 9, 1902.

partien des menschlichen Thorax gut durchdringen, sind für unsere Untersuchungen schon nicht mehr geeignet, denn sie projizieren diese Knochenteile nicht mehr.

29. Fortsetz. Einteilung der Röhre in Bezug auf die Qualität der erzeugten Strahlen. — „Hart“ und „weich“.

Ein Bild, das alle Abstufungen vom Licht zum Schatten mit größter Feinheit enthält, nennt der Photograph ein weiches Bild. Als hartes Bild wird dagegen ein solches bezeichnet, daß wohl die starken Kontraste und Umrisse hervortreten, feine Details in den Abstufungen dagegen vermissen läßt. Weiche Bilder eines Gegenstandes werden in der Radiographie erzeugt von Strahlengattungen, die eben noch hinreichende Durchdringungsfähigkeit besitzen, harte Bilder entstehen, wenn die Durchdringungsfähigkeit größer als nötig gewählt wird.

Ähnlich diesen in der Photographie üblichen Bezeichnungsweisen hat man sich gewöhnt, solche Röhren weich zu nennen, die weniger durchdringungsfähige Strahlen erzeugen. Röhren, die durchdringungskräftigere X-Strahlen aussenden, heißen hart.

Eine „weiche“ Röhre ist also eine solche, die noch relativ viel Gas enthält, dem Strome keinen sehr hohen Widerstand entgegensetzt, in der eine große Strahlenmenge von geringer mittlerer Penetrationskraft entsteht; die chemische Wirkung der Strahlung ist sehr groß (Verbrennungsgefahr) die Schädlichkeit der Sekundärstrahlung gering.

Scharfe Unterscheidung gibt es hierbei naturgemäß nicht. Die Qualitäten der Strahlen sind unendlich verschieden und gehen in unendlicher Feinheit ineinander über. Zugleich ergibt sich mit Rücksicht auf die Bildqualität die Regel, immer möglichst „weiche“ Röhren zu verwenden, solche, deren Strahlen eben noch hinreichende Durchdringungsfähigkeit besitzen, um den zu beobachtenden Körper zu durchleuchten oder zu radiographieren.

Eine „harte“ Röhre setzt im Gegensatz hiezu dem Stromdurchgang hohen Widerstand entgegen. Die Strahlenmenge und die chemische Wirksamkeit nimmt ab, die Penetrationskraft ist groß, ebenso die störende Sekundärstrahlung bedenklich. Dazwischen unterscheidet man noch die Mittelstufen: mittelweich und mittelhart.

Jede Röhre wird durch den Gebrauch selbsttätig härter. Diese Erscheinung mag wohl in einem Dessoziationsverbrauch ihre Ursache haben, teilweise aber mit der Metallzerstäubung durch die Kathodenstrahlen zusammenhängen.

30. Fortsetz. Die Änderung der Röhrenqualität.

Das zerstäubte Metall schlägt sich an den Glaswänden nieder und okkludiert beim Erkalten Gas. Dieses Gas kann wohl anfangs durch Erhitzung der Wände wieder teilweise frei gemacht werden, aber das Mittel hilft nur für kurze Zeit, und wahrscheinlich zum guten Teil dieser Okklusion ist es zuzuschreiben, dass der Gasgehalt

der Röhre beim Gebrauche abnimmt, ihr Widerstand wächst, die Durchdringungskraft der erzeugten Strahlen zunimmt, dagegen die Strahlenmenge geringer wird — mit einem Worte: die Röhre härter wird. Nach einiger Zeit sind die erzeugten Strahlen wegen ihrer zu großen Durchdringungsfähigkeit nicht mehr verwendbar.

Diesem Mißstande sucht man abzuhelfen, einmal durch möglichst rationellen Gebrauch der Röhren, die man nicht mehr belastet, als es nötig ist, dann aber durch die sogenannten Regenerierverfahren, die zum Zweck haben, der Röhre wieder Gas zuzuführen. 31. Fortsetz. Die Regenerierverfahren.

Sie beruhen alle auf dem Prinzip der Röhre von außen Gas in geringer Quantität zuzuführen.

Aus den Betrachtungen über die Erzeugung der X-Strahlung lassen sich für die Konstruktion der Apparate folgende Schlüsse ziehen: 32. Forderungen an die Stromart.

1. Der zur Erzeugung (Transformation) der X-Strahlen dienende Strom muß genügende Spannung besitzen, um den Widerstand der hochevakuierten Röhre zu überwinden und den Durchgang des Stromes in ihr auszulösen. Das Minimum dieser Spannung, das sogenannte „Entladungspotential“ der Röhre, ist diejenige Anzahl Volt, die notwendig ist, um erstmals den Dissoziationsvorgang in der Röhre einzuleiten, den Energiefluß herbeizuführen.

2. Die Menge der erzeugten X-Strahlen hängt ab von der Intensität des die Röhre passierenden Stromes. Deshalb muß zur Transformation von möglichst großen X-Strahlen-Mengen (helle Durchleuchtungsbilder) die Intensität des die Röhre passierenden Stromes möglichst gesteigert werden können.

3. Die Richtung der Stromimpulse muß im Interesse einer guten Zentralprojektion immer die gleiche sein, d. h. es dürfen möglichst nur solche Stromimpulse zur Verwendung kommen, die an der Anode der Röhre eintreten und an der (hohlspiegelförmigen) Kathode austreten.

Diese drei Forderungen geben uns die Maximen zur Konstruktion der Apparate an die Hand. Ein elektrischer Strom ist, wie im 1. Kapitel dargelegt, durch seine 3 Dimensionen, Spannung, Stärke und Form (Kurve) definiert. Die obigen 3 Forderungen geben uns genaue Anhaltspunkte über die Frage, wie ein Strom beschaffen sein muß, durch dessen Transformation in der Röntgenröhre Röntgenstrahlen erzeugt werden. Aufgabe der Technik wird es demnach lediglich sein (soweit die Aufgabe sich auf den elektrischen Teil der Apparate bezieht), einen elektrischen Energiefluß hervorzubringen, der diese drei Forderungen erfüllt und somit zur Transformation in X-Strahlen sich möglichst eignet.

Und so gelangen wir zum dritten Kapitel unserer physikalischen Betrachtungen. Wir haben im ersten Kapitel von der Energieform Elektrizität, der Ausgangsenergie, im zweiten Kapitel von der Energieform X-Strahlen, der gewollten Energie uns eine Vorstellung zu machen gesucht. Wir haben uns nunmehr damit zu beschäftigen, wie elektrische Energie transformiert wird, in andere, gewollte Energie, insbesondere, in die von uns beabsichtigte X-Strahlung.

C.

Von der Transformation elektrischer Energie.

(Wirkungen des elektrischen Stromes).

33. Allgemeines über Energietransformation. Energie und Entropie.

Bei allen Energietransformationen, seien sie bewußt eingeleitet, oder vollziehen sie sich ohne unser Zutun in der Natur, stellen wir eine quantitative und eine qualitative Überlegung an. Die quantitative Seite ist im Robert Meyer'schen Gesetz enthalten, die qualitative ist Gegenstand des Entropiegesetzes, das unter allen Erkenntnissen des Menschengeistes wohl eine der tiefsten und gewaltigsten ist.

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie lehrt uns, daß bei allen geschlossenen Verläufen, das heißt bei allen Versuchsanordnungen, deren Ausgang und Resultat wir völlig kontrollieren, die Bilanz vollkommen ist. Die Summe des Aufgewendeten ist gleich der Summe des Erhaltenen.

Demgegenüber sind vom praktischen Gesichtspunkte aus die Energietransformationen häufig unrationell. Eine Glühlampe gibt nur etwa für 6 % der hingegebenen elektrischen Arbeit Licht. Aber dies widerstreitet nicht dem Gesetze von der Erhaltung. Denn auch der Rest tritt zu Tage freilich in einer ungewollten Form, nämlich in Gestalt von Wärme. Die Summe der Wärmearbeit und der Lichtarbeit zusammen ist aber das volle Äquivalent für die aufgewendete elektrische.

Wegen der Unvollkommenheit der Energietransformatoren also sind die Arbeitsprozesse praktisch häufig unökonomisch. Aber das rührt nur daher, daß neben der gewollten ungewollte Energieformen als Resultate der Prozesse auftreten. Ein Hauptteil der Technik ist infolgedessen der Verbesserung der Energietransformatoren gewid-

met, sucht sie so auszugestalten, daß sie möglichst nur die gewollte und möglichst wenig ungewollte Energieformen hervorbringen. Der Inhalt der technischen Bestrebungen zielt also auf eine möglichste Annäherung der praktischen Rationalität an die prinzipielle des Robert Mayer'schen Gesetzes.

Die andere Betrachtungsart, die qualitative, kann hier nur angedeutet werden. Ein Teil des Entropiegesetzes zeigt uns, daß nicht jede Energie sich in jede andere ohne Weiteres umformen läßt, sondern daß manche nur unter ganz besonderen, dem Transformationsprozeß selbst fremden Umständen dies gestatten. Aber es zeigt weiter, daß auch von einem ohne besondere Umstände möglichen Umwandlungsprozeß die Ausgangsenergie nur in besonderer Form, in bestimmten Dimensionen sich zur Erzeugung einer bestimmten gewollten eignet. So eignet sich Elektrizität nur in bestimmten (mittleren) Spannungen zur Transformation in Licht, nur in besonderer Entladungsform und sehr hoher Spannung zur Verwandlung in Kathoden- und Röntgenstrahlen.

34. Transformation elektrischer Energie.

Hiermit knüpfen wir an das vorausgegangene Kapitel an. Da unsere Absicht ist, elektrische Energieform in andere, besonders aber in Röntgenstrahlenenergieform zu verwandeln, so kommt es darauf an, einmal das nötige Quantum der Ausgangsenergie, und ferner es in solcher Form zur Verfügung zu haben, daß es sich zum beabsichtigten Transformationsprozesse möglichst eignet.

Für den Spezialfall, Röntgenstrahlenerzeugung, haben wir am Ausgang des letzten Kapitels drei Forderungen kennen gelernt, welche uns diese spezielle Form definierten. Es war elektrische Energie von genügender (sehr hoher) Spannung, möglichster Intensität und charakterisiert durch Impulse gleicher Richtung. Solche Form elektrischer Energie ist erst auf Umwegen zu erzeugen, indem gewöhnlicher elektrischer Strom (Zentralenstrom) in die besondere Form übergeführt wird.

Demnach gliedern wir unserer Besprechung der Transformationen elektrischer Energie — der Transformation in Wärme, Licht, Bewegung, magnetische Energie — als gleichwertigen Prozeß die Transformation von Elektrizität in Elektrizität, jedoch von besonderer Form, an. Diese Transformation, die Induktion, besorgt uns dann jene Stromart, die sich wiederum eignet, in der Röhre X-Strahlen zu erzeugen. —

35. Die elektrische Arbeitsgröße. Definition.

Eine elektrische Stromleistung hängt ab von dem „Drucke" des Stromflusses, seiner „Spannung", von seiner Intensität oder Stärke und endlich von der Zeitdauer, während der er fließt.

Die elektrische Arbeit ist demnach:

$$\mathfrak{A} = V \times A \times t \quad (t = \text{Zeit.})$$

Unabhängig von der Zeit nennt man das Produkt der beiden Stromgrößen Volt und Ampère, Voltampère oder Watt, elektrischen Stromeffekt. Bei Bemessung von Apparaten, die zur Erzeugung oder zum Verbrauche elektrischer Arbeit dienen, ist diese Größe, die Wattzahl, wichtig.

36. Arbeitsäquivalente. Zwischen den Punkten A und B von bestimmter, konstanter Potentialdifferenz fließt ein Strom, konstant in einer Richtung, dessen Spannung gegeben, dessen Stärke demgemäß nur noch von der Beschaffenheit des Leiters abhängt. Ist auch diese gegeben, besitzt er einen bestimmten Widerstand, so resultiert eine bestimmte Stärke des Stromes.

Da fortgesetzt Elektrizität von dem einen Punkt zum andern fließt und also die Potentiale der beiden Punkte sich auszugleichen bestrebt sind, so muß, um diese Potentiale konstant und different zu erhalten, irgend eine Arbeit verbraucht werden. Bei unserem oben (8) gewählten Beispiele war es chemische Arbeit: Eine positive Bleisuperoxydplatte wurde reduziert und solange diese Reduktion gleichzeitig mit der Oxydation der negativen Schwammbleiplatte vor sich ging, blieb die Potentialdifferenz der Pole, damit die Spannung abgesehen von kleinen Schwankungen — konstant.

Diese Stromarbeit, die durch den Leiter zur Auslösung kommt und aufgebraucht wird, muß nun irgendwie wirksam sein. Es muß an ihrer Stelle etwas anderes entstehen.

37. Wärmewirkung des Stromes. Die häufigste, fast immer auftretende Wirkung ist die Erwärmung des Leiters. Der Leiter erhitzt sich und zwar der Stromstärke entsprechend. Mißt man unter Ausschluß jeder Fehlerquelle die Größe der entstehenden Wärmearbeit, so ergibt sich, daß diese genau der aufgewendeten elektrischen Arbeit äquivalent ist. Die erzeugte Wärme ist gemäß dem Joule'schen Gesetz proportional dem Quadrate der Stromstärke des Stromes und dem Widerstand des Leiters. Also hängt die Größe der erzeugten Wärmearbeit wesentlich ab von der Stärke des aufgewendeten Stromes. Da dieser nach dem Ohm'schen Gesetz wieder von der Spannung abhängt, so ist diese indirekt für die entstehende Wärmemenge von Bedeutung.

Beispiel: Man macht von dieser Energieumwandlung Gebrauch bei der elektrischen Heizung. Aber auch das elektrische Glühlicht beruht auf keinem anderen Gesetz. Der Leiter, ein Kohlenfaden von ziemlich großem Widerstand im evakuierten Raume wird zur Weißglut erhitzt, so daß er leuchtend wirkt. Die Summe der entstehenden Wärmearbeit und der in Lichtwellen ausgesendeten ergibt den Gegenwert für den Strom.

Eine andere Gruppe der Umwandlungserscheinungen sind die chemischen Wirkungen des Stromes, die uns hier zunächst nicht beschäftigen. Wichtiger für uns ist das Gebiet der magnetischen Wirkung.

Ein stromdurchflossener Draht ist im Stande, Eisenkörper zu magnetisieren. Magnetnadeln werden durch den Strom ebenso abgelenkt, wie durch magnetisches Eisen. Ein Weicheisenkörper wird in der Nähe eines Stromes stets magnetisch. Windet man um einen Eisenstab den elektrischen Leiter, so daß der Strom ihn in Form einer Spirale umfließt, so wird der Eisenstab zum Magneten. 38. **Magnetische Wirkung des Stromes.**

Von allen Energieformen ist der Magnetismus und die in unserm Leben ständig sich geltend machende Energieform Erdschwere (Anziehungskraft der Erde) am wenigsten erklärt. Während wir bei den anderen Energien, Licht, Wärme, elektrischen Wellen, beim Schall eine ununterbrochene Kette von Ereignissen zwischen dem Energie aussendenden Orte (Wärmequelle, Lichtquelle u. s. f.) und dem Energie empfangenden „wahrnehmenden“ Orte (Auge, Nerven, Ohr, Fritter) konstatieren, haben wir bis jetzt keinerlei Anhaltspunkte für das, was zwischen dem Magnet und dem Eisen, was zwischen dem Erdmittelpunkt und dem fallenden Steine sich abspielt. Licht erklärt sich aus einer Molekularschwingung der Lichtquelle, die sich dem Äther mitteilt und deren Schwingungsgröße (Schwingungszahl und Wellenlänge) allein ausschlaggebend sind für die Bezeichnung der Energie als Wärme, rotes, gelbes, blaues, violettes Licht oder chemische Strahlung. Diese Wellenbewegung bildet eine ununterbrochene Kette, bis sie zu unsern Sinnen gelangt, die Empfindung „Licht“, „Farbe“ etc. auslöst oder an einem Empfangsapparat, der unsern für manche Energieformen fehlenden Sinn ersetzt, sich äußert. Im Gegensatz hiezu ist bei Erdschwere und Magnetismus eine Beschreibung des Zusammenhanges noch nicht gelungen. 39. **Magnetismus.**

Nur Eines gelang Faraday: Er hat zur Versinnlichung dieser Erscheinungen in die Technik die Vorstellung des magnetischen Kraftlinienfeldes eingeführt.

Ein stabförmiges magnetisches Stahlstück übt auf alle in seiner Umgebung befindlichen magnetisierbaren (paramagnetischen) Körper (Eisen und Eisenlegierungen, Stahl etc.) eine Kraft aus. Solche Kräfte gehen von allen Punkten des Stabmagneten aus, am wenigsten von der Mitte, am stärksten von den Enden, die man Pole nennt. Die Richtungen dieser Kräfte entsprechen den Linien, längs deren die Eisenkörper sich einstellen würden, wenn sie leicht beweglich wären. Diese Linien verbinden immer 2 korrespondierende Punkte des Magneten miteinander.

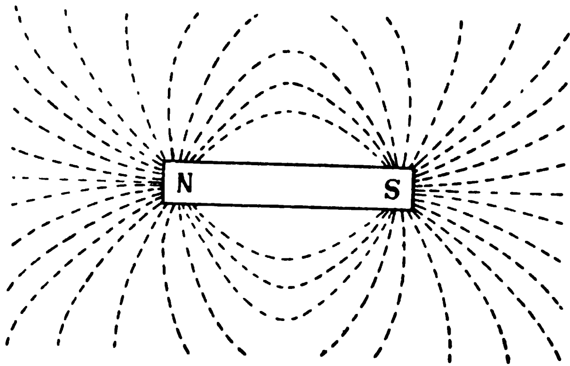
Die Zahl der richtenden Kräfte ist natürlich unendlich groß, denn man kann durch alle Punkte des den Magneten umgebenden Raumes Richtungslinien legen, indem man sich magnetisierbare Körper in den Punkten denkt. Übereinkunftsgemäß deutet man durch die Zahl der (gezeichneten oder in Rechnung gebrachten) 40a. **Kraftlinienzahl.**

Kraftlinien die Stärke des magnetischen Kraftfeldes in den einzelnen Fällen an. Die Kraftlinien durchziehen das Feld in geschlossenen Kurven. Ihre Richtung gibt die Richtung der Kraft, ihre Dichte die magnetische Feldstärke an. (c. f. Grawinkel und Strecker „Hilfsbuch für die Elektrotechnik“.)

Ein Bild des magnetischen Kraftfeldes um einen stabförmigen Magneten gibt Fig. 17.

40 b. Magnetische Polarität. Daß eine bewegende Wirkung zwischen Punkten des Magneten, insbesondere zwischen den am entferntesten liegenden, den Polen, besteht, hat zur notwendigen Voraussetzung, daß ein Zustandsunterschied zwischen denselben vorhanden ist. Dieser Unterschied ist der Polaritätsunterschied. Man nennt den einen Pol des Magneten Nordpol, den anderen Südpol. Diese Unterscheidung hat ihre Berechtigung dadurch, daß ein freischwebend aufgehängter Magnet sich in einer mit der Nord-Südrichtung einigermaßen übereinstimmenden Richtung einstellt, und immer der gleiche Pol nach Norden bezw. nach Süden zeigt. Die gleichnamigen Pole zweier Magnete stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an.

Ein experimentelles Bild über den Verlauf der Kraftlinien den obigen Ausführungen gemäß kann man sich machen, indem man



Figur 17.

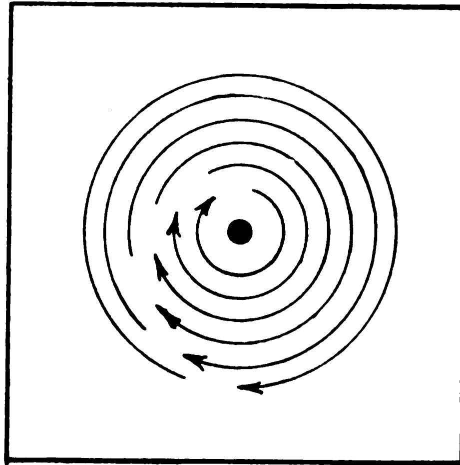
ganz feines Eisenfeillicht auf ein Papierblatt über einen Magneten streut und vorsichtig die Unterlage durch leichtes Klopfen erschüttert. Durch das Klopfen wird der Reibungswiderstand der Feilspäne auf der Unterlage jeweils einen Augenblick aufgehoben, und die Teilchen ordnen sich im Großen und Ganzen recht gut dem Verlaufe und der Dichtigkeit der magnetischen Kraftlinien entsprechend.

41. Strom und Kraftfeld. Ebenfalls ein Kraftfeld bringt ein jeder fließende Strom hervor, auch er zieht benachbarte Eisenteile an. Die Anordnung der Kraftlinien um einen geradegestreckten, stromdurchflossenen Leiter ist die von Kreisringen, die den Leiter konzentrisch umgeben. (Figuren 18 und 19.)

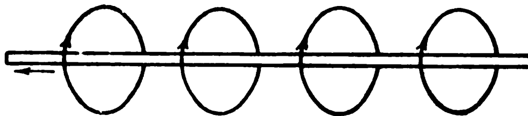
Windet man nun einen solchen Leiter spiralig auf und stellt

sich dabei vor, wie an jeder Stelle des Drahtes die Kraftlinien verlaufen, so kommt man zu einem Kraftlinienbilde, das dem eines gestreckten Magneten vollkommen ähnlich sieht. In der Tat zeigt eine solche stromdurchflossene Drahtspirale alle Eigenschaften eines Stabmagneten, seine an den Enden zunehmende Anziehungskraft, seine Polarität.

Die magnetische Wirkung des stromdurchflossenen Leiters und des permanenten Magneten ist also auf magnetisierbare Körper die gleiche. Deshalb lassen sich hinsichtlich des stromdurchflossenen Leiters dieselben Gesetze aufstellen, wie für den Magneten. Es folgt daraus, daß zwischen 2 stromdurchflossenen spiraligen Leitern genau dieselben Beziehungen bestehen, wie zwischen 2 Stabmagneten, und daß jeder von ihnen ohne Störung der Beziehungen durch einen Stabmagneten ersetzt werden kann.



Figur 18.



Figur 19.

Eine stromdurchflossene Drahtspirale hat demgemäß 2 magnetische Pole. Um die Lage der Pole zu bestimmen, hält man die rechte Hand so, daß der Strom bei der Handwurzel ein und bei den Fingerspitzen austritt und kehrt dabei die Handfläche gegen

die Achse des Solenoids; dann gibt der ausgestreckte Daumen die Lage des Nordpoles an. (Rechte Handregel.)

Die gleichen Pole zweier Stromspiralen stoßen sich ab, die ungleichen ziehen sich an. Ebenso stößt der Nordpol einer Stromspirale, die man auch Solenoid nennt, den Nordpol eines Magneten ab, zieht dessen Südpol an.

42. Ablenkung und Verdichtung der Kraftlinien; Magnetisierung durch Induktion.

Der Verlauf der Kraftlinien, wie er oben dargestellt wurde, wird gestört, wenn ein magnetisierbarer Körper im Kraftfelde sich befindet. (Fig. 20.) Es gehen durch diesen Körper (z. B. ein Eisenstückchen) mehr Kraftlinien, als durch die von ihm verdrängte Luft.

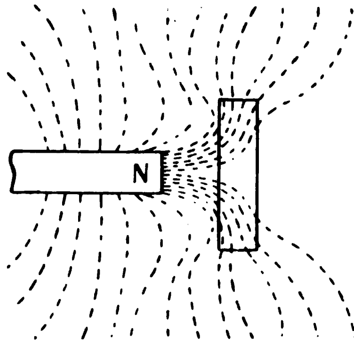
Man sagt: Die magnetische Leitfähigkeit des Eisens ist besser als die der Luft. Übrigens ist die magnetische Leitfähigkeit, also die Fähigkeit, Kraftlinien aufzunehmen und fortzupflanzen, auch bei den verschiedenen Eisensorten verschieden. Die höchste magnetische Leitfähigkeit besitzen sehr weiche, gut ausgeglühte Eisensorten (schwedisches Holzkohleneisen, „Dynamobleche").

Wenn magnetisierbare Körper von Kraftlinien durchflossen werden, so werden sie gleichfalls magnetisch und erzeugen um sich her ein Kraftfeld. (Magnetische Induktion). Die Stärke des durch Induktion erzeugten Magnetismus hängt ab von der Stärke des Feldes, in dem der Körper liegt (also von der magnetischen Kraft des ersten Magneten, der Entfernung von ihm und seinen Polen), von der Größe und dem Material des Körpers.

43. Magnetische Wirkung und Kraftlinienzahl.

Ganz allgemein kann man sagen, daß die magnetische Wirkung — Anziehung, Abstoßung, Magnetisierung — um so größer ist, je mehr Kraftlinien durch den Körper gehen, der angezogen oder abgestoßen oder magnetisiert wird.

Die magnetisierbaren Körper unterscheiden sich hinsichtlich



Figur 20.

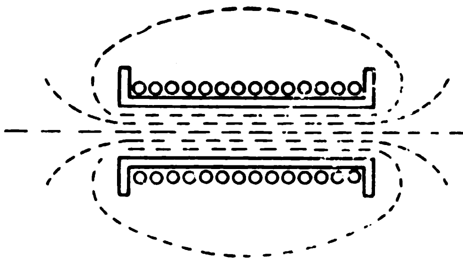
ihrer magnetischen Eigenschaften, wie folgt. Eisen wird durch jeden Magneten angezogen, unabhängig davon, welcher Pol genähert

wird. Solange Kraftlinien Eisen passieren, ist es selbst magnetisch und seine Pole liegen dem Durchgang der Kraftlinien entsprechend. Wird es aus dem Kraftfeld entfernt, so verliert es den Magnetismus sofort wieder, und zwar desto rascher, je weicher es ist. Stahl wird, wenn selbst unmagnetisch, gleichfalls von beiden Polen eines Magneten angezogen. Es wird nur schwer magnetisiert, und zwar dadurch, daß l a n g e Zeit Kraftlinien hindurchgehen, behält aber dann seinen Magnetismus und ist selbst ein Magnet mit allen Eigenschaften eines solchen.

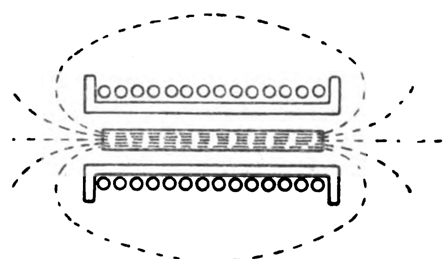
44. Magnetisierung durch Strom. Ampèrewindungen.

Steckt man durch ein Solenoid (stromdurchflossene Drahtspirale) einen Stab aus weichem Eisen, so gehen vermöge des höheren magnetischen Leitvermögens sehr viele Kraftlinien durch ihn hindurch. Infolgedessen ist dieser Eisenstab magnetisch, so lange Strom durch den herumgelegten Draht geht. Einen solchen, durch elektrischen Strom erzeugten Magneten nennt man Elektromagneten. Die magnetisierende Kraft des Stromes auf den Eisenkern hängt ab von der Windungszahl des Solenoids und der Stärke des Stromes (in Ampère). Man faßt diese beiden Größen in den Ausdruck „Ampèrewindungen" zusammen.

Der Verlauf der Kraftlinien des Solenoides wird durch den hineingeführten Eisenstab geändert, da er einen größeren Teil der Kraftlinien an sich zieht (vergleiche 42). Fig. 21 und 22.



Solenoid ohne Eisenkern.
Figur 21.



Solenoid mit Eisenkern.
Figur 22.

45. Sättigung

Bei der Magnetisierung von Eisen durch einen Strom bezw. durch ein Kraftfeld, das der Strom hervorgebracht hat, nimmt die magnetisierende Wirkung mit der Stärke des Stromes zu und läßt sich durch Vergrößerung der Ampèrezahl steigern, bis zu einer Grenze, die durch die Art und die Abmessungen des magnetisierten Körpers gegeben ist. Diese Grenze heißt magnetische Sättigung. Ein Eisenstab von bestimmter Größe und Dimension kann nicht über ein gewisses Maximum hinaus Kraftlinien aufnehmen. Soll das durch ihn erzeugte magnetische Feld stärker werden, so muß außer der Vergrößerung des Stromes eine Vermehrung der Eisenmasse stattfinden.

46. Hysteresis. Unterhalb dieser Grenze entspricht der erzeugte Magnetismus des Eisens der Stärke (Intensität) des aufgewendeten Stromes. Läßt man in einem Elektromagneten die magnetisierende Stromstärke rasch von 0 bis zu dem Werte wachsen, bei dem die Sättigung eintritt, so entspricht der Magnetismus des Eisenkernes in jedem Moment dem aufgewendeten, steigenden Strombetrag. Aber nicht ohne eine kleine Korrektur: Die magnetische Kraft bleibt zeitlich immer ein wenig hinter der Stromänderung zurück. Dieses magnetische Zurückbleiben heißt Hysteresis (ὑστερεῖν, zurückbleiben).

Beim raschen Anwachsen des Stromes ist also das im Eisenkern erzeugte Kraftfeld immer etwas schwächer und bei rascher Reduzierung des Stromes immer etwas stärker, als es dem momentanen Strombetrage entspricht.

47. Äquivalenz. Mißt man unter Ausschluß jeder Fehlerquelle die durch den elektrischen Strom erzeugte Arbeit, so ist diese, wie aus dem Gesetze von der Erhaltung der Arbeit hervorgeht, ein Äquivalent des Stromes. Wird durch den erzeugten Magnetismus eines Elektromagneten eine Bewegung eines Eisenkörpers entgegen seiner Schwere erzeugt, also Arbeit geleistet, so ist diese Arbeit ein Äquivalent der aufgewendeten elektrischen Arbeit oder eines Teiles derselben. Es werden neben der magnetischen auch noch andere Energieformen geleistet, z. B. Erwärmung des Leiters und des Eisens. Die Summe aller hierbei zu Tage tretenden Arbeit ist der aufgewendeten gleich. Es hat auch hier nur eine Verwandlung der Energieformen ohne Änderung der gesamten Arbeitsgröße stattgefunden.

48. Transformation von Elektrizität in Elektrizität. Induktion. Die voraufgegangenen kurz besprochenen Transformationen bieten dem Verständnis keine besondere Schwierigkeit. Die Energietransformation „Elektrizität in Elektrizität“, die Induktion dagegen erfordert erhebliche Aufmerksamkeit. Eine eingehende Beschreibung der Induktion ist nicht möglich, weil wir die Natur magnetischer Kräfte nicht kennen.

Wir nehmen einmal an, daß die magnetischen Kraftlinien, die aus einem Magneten heraustreten, in ihrem Verlaufe durch verschiedene Drähte oder sonstige metallische Körper hindurchgingen (etwa wie es in Figur 23, Seite 43 im Schnitt dargestellt ist. Von dem zentral gelagerten Eisenstab gehen Kraftlinien aus, und durchschneiden einen konzentrisch herum gelagerten, aufgespaltenen Kupferring). Solange im Kraftfeld keine Änderung erfolgt, solange also die Kraftlinien kontinuierlich in gleicher Richtung und Stärke austreten, geschieht nichts in dem Kupferring. Sobald aber das Kraftfeld gestört wird, so daß die schneidenden Kraftlinien sich ändern, zunehmen oder abnehmen, geschieht etwas. Es machen sich Störungen im elektrischen Gleichgewichte des Leiters bemerkbar, es treten Potentialdifferenzen in seinen verschiedenen Punkten auf.

Als Analogie zu dieser durch Störungen eines vorher ruhenden Kraftfeldes hervorgerufenen Wirkung mag uns eine breite vertikal herabhängende Fahne dienen. Solange die umgebende Luft vollkommen ruhig ist, verbleibt das Tuch in genau vertikaler Ruhelage. Sobald aber die geringste Störung in dem umgebenden Medium, Luft, eintritt, sobald ein geringer Luftzug sich geltend macht, verändert die Fahne ihre Lage; sie beugt sich an der getroffenen Stelle aus und schwingt um ihre Ruhelage.

Das ruhende Kraftfeld bringt keinerlei Wirkung auf den elektrischen Leitungsweg zustande. Erst die Störung, die Änderung bewirkt das Auftreten von Potentialdifferenzen. Die elektrische Energieform entsteht demnach hier als Äquivalent einer Änderung.

Mit einer Änderung ist in der Regel tatsächlich eine Arbeit verbunden. Bringen wir einen stehenden Wagen ins Rollen, halten wir einen fliegenden Ball in seinem Fluge plötzlich auf, so ist jedesmal eine Arbeit entgegen der Beharrungstendenz zu leisten. So bedeutet es, wie uns im Weiteren noch klarer werden wird, eine Arbeit, ein Kraftfeld zu ändern, entstehen, anwachsen, verschwinden zu machen.

Wir setzen den Fall, ein Solenoid mit eingelagertem Eisenkern werde von einem sinusoiden Wechselstrom durchflossen. Ein Gleichstrom würde den Eisenstab, wie oben dargelegt, einfach zu einem Elektromagneten machen.

Während einer ganzen Periode des Wechselstromes treten der Reihe nach folgende Erscheinungen auf.

Zunächst schwillt der Strom von 0 aus an. Es treten Kraftlinien in den Eisenkern und dieser wird magnetisch, erhält an der einen Seite, der „Rechten Handregel“ (41) entsprechend, einen Nordpol, an der anderen Seite einen Südpol. Die Stromstärke nimmt zu und mit ihr, ein wenig durch die Hysteresis verzögert, der Magnetismus des Eisenkernes. Der Strom erreicht sein Maximum und die Magnetisierung auch. Dieses Strommaximum kann der magnetischen Sättigung entsprechen, darüber oder darunter liegen. (Entspricht die magnetisierende Kraft des Strommaximums der Sättigung nicht, so wird diese nie ganz erreicht, sie ist größer als das Aufnahmevermögen des Stabes, so bleibt das Plus nutzlos.)

Nach Erreichung des Maximums schwillt der Strom wieder ab und mit ihm der Magnetismus. Beide werden gleich Null. Der Strom kehrt seine Richtung um, und gemäß der „Rechten Handregel“ auch der Eisenkern seinen Magnetismus. Der Nordpol wird Südpol und der Südpol wird Nordpol. Strom und Magnetismus schwellen an bis zum gleichen, aber entgegengesetzten Maximum, nehmen wieder ab, und so wiederholt sich das Spiel fortgesetzt.

Das Kraftlinienfeld eines Elektromagneten folgt den Schwingungen des Stromes durchaus. Beim Anschwellen des Stromes bis zum Maximum treten immer mehr Kraftlinien (durch deren Zahl

wir uns ja die Stärke des Kraftfeldes dargestellt denken, [s. 40a]) aus, bis zu einem bestimmten Maximum, dann nimmt ihre Zahl wieder ab, wird gleich Null. Die Zahl der Kraftlinien wächst wieder, nachdem der Strom die Nullinie passiert hat und wieder anschwillt. Mit ihm hat sich aber die Richtung der Kraftlinien geändert. Sie erreichen auch hier wieder ihr Maximum, nehmen wieder ab, schwellen an — das magnetische Feld wechselt mit dem Strome, durch die Hysteresis in der Phase ein wenig verschoben, Stärke und Richtung.

49. Arbeit der Kraftfeldänderung. Aenderungsarbeit.

Diese kontinuierliche, zwangsweise Änderung des Feldes bedeutet eine Arbeitsleistung, die in irgend einer Weise ein Äquivalent finden muß. Es muß aus dieser Form eine andere Arbeitsform gewonnen werden.

Durch diese Überlegung werden wir dazu geführt, die im Kraftfelde befindlichen Körper auf Äußerung irgend einer Wirkung zu untersuchen.

In allen im pulsierenden Kraftfelde befindlichen Leitern (Stromwegen) entsteht während des Anwachsens und Abschwellens der Änderung des Kraftfeldes Elektrizität. Den das schwingende Kraftfeld erzeugenden Strom nennt man den induzierenden Strom (primären Strom), die an den Leitern auftretende Elektrizitätserscheinung Induktionsstrom (sekundären Strom), den Vorgang Induktion.

Notwendigkeit der Induktion aus dem Erhaltungsgesetz.

Die Induktion ist also eine Erzeugungsweise elektrischer Spannung in leitenden Körpern durch Änderung der Stärke des magnetischen Feldes. Kraftlinien werden ausgesendet, nehmen an Zahl zu, bis zu einem Maximum, nehmen wieder ab und schneiden dabei durch leitende Körper. Der aufgewendeten Arbeit, die in der fortwährenden Änderung der Feldstärke (Zahl und Richtung der Kraftlinien) liegt, muß eine Leistung entsprechen, und diese besteht in der Erzeugung von Elektrizität in allen Leitern, die von den pulsierenden Kraftlinien getroffen werden.

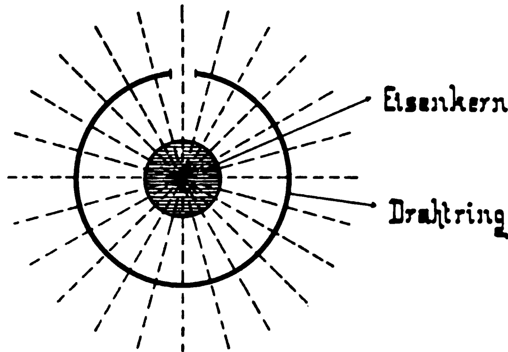
Die aufgewendete Energie ist um so größer, je rapider die Kraftlinienzahl sich ändert, je schneller sie ausgesendet, je rascher sie zu möglichst großer Zahl vermehrt werden, in je kürzerer Zeit sie wieder verschwinden, ihre Richtung wechseln.

Der bei einer Transformation aufgewendeten Energie muß aber das Maß der neuen, entstehenden entsprechen, und so gelangen wir zu dem fundamentalen Hauptgesetz der Induktion.

50. Spannung des Induktionsstromes.

Die elektrische Induktion hat zur Voraussetzung eine Änderung der einen Leiter schneidenden Kraftlinien. Die Spannung des erzeugten Induktionsstromes ist um so größer, je größer das Maß der Änderung ist, also in je kürzerer Zeit eine möglichst große Kraftlinienzahl hinzukommt oder hinwegfällt.

Bedeutet d (J) die Änderung des Kraftfeldes in einer ganz kleinen Zeit d (t), so ist die Induktionsspannung E des Sekundärstromes $E = \frac{d\ (J)}{d\ (t)}$



Figur 23.

Wir untersuchen nunmehr den Fall, daß ein Drahtring oder mehrere aneinander gereihte Ringe, eine Spirale oder Spule im pulsierenden magnetischen Felde liegt. In der Figur 23 ist ein Eisenkern oder eine Primärspule senkrecht zur Ebene durch das Papier hindurchgesteckt gedacht, so daß die Kraftlinien strahlenförmig von ihm aufzusteigen scheinen und die Sekundärspule, die durch eine einzelne Windung angedeutet ist, treffen.

Der Strom pulsiere sinusoidal. Gemäß der Kurve (siehe 10) pulsieren die Kraftlinien, welche der Elektromagnet aussendet, ebenso sinusoidal schneiden den Drahtring und gemäß ihrer Zunahme und Abnahme induzieren sie ihm Elektrizität. Die freien Enden des Drahtringes erhalten einen Potentialunterschied, der aber nicht konstant bleibt, sondern variiert, gemäß der Kraftfeldänderung, also sinusoidal. Werden die freien Enden durch irgend einen Leiter verbunden, so fließt in dieser Verbindung ein sinusoidaler Wechselstrom. Ist der Strom des Elektromagneten, der Primärstrom, von anderer Kurve, so entspricht dieser das Pulsieren des Kraftfeldes, damit die Größe und Änderung der erzeugten Potentialdifferenz, und wenn der Sekundärkreis geschlossen ist, die Spannung des entstehenden Stromes. Die Kurven der Sekundärströme sind also abhängig von den Kurven der Primärströme.

Eine einzelne Windung der sekundären Spirale wird von einer bestimmten Anzahl Kraftlinien getroffen. Dem Maße der Änderung dieser Kraftlinienzahl entspricht die an den Endpunkten der Windung erzeugte, ständig wechselnde Potentialdifferenz. Der nächsten 51. **Spannung und Windungszahl.**

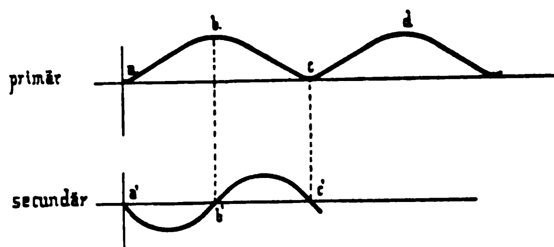
Windung wird ebenso eine gleiche, in gleicher Weise sich ändernde Potentialdifferenz induziert. Ist nun der Endpunkt der einen Windung der Anfangspunkt der nächsten, so daß sie, als ein Punkt, ein Potential haben, so ist das Potential dieses Mittelpunktes different gegen den Anfangspunkt der ersten und den Endpunkt der zweiten Windung. Die Potentialdifferenz dieser beiden Punkte muß also die doppelte sein (oder gleich 0, wenn die Potentiale umgekehrten Sinn haben, die eine Windung nach rechts, die andere nach links geht). Genau dieselbe Ueberlegung gilt für die dritte und jede weitere Windung der Spirale.

Aus dem Induktionsgesetz ergibt sich, daß die Spannung des induzierten Stromes proportional ist der Windungszahl der induzierten Spirale.

52. Richtung der Induktion.

Die Richtung jedes Induktionspulses ist immer seiner Ursache entgegengesetzt. Es läßt sich dies aus der ganz allgemeinen Überlegung herleiten, daß jede Wirkung, die ja unter Verbrauch ihrer Ursache zu Stande kommt, eine umgekehrte Tendenz wie diese hat. So tendiert der Stein, den wir emporheben, während der Dauer des Hebens zum Boden hin. So sucht sich ein elastischer Körper, den wir strecken, zusammenzuziehen. So wird auch der Induktionsstrom, der beim Anwachsen der Kraftlinien entsteht, ihrer Zunahme entgegengerichtet sein, der Induktionsimpuls dagegen, der beim Zusammensturz der Kraftlinien erfolgt, sie aufrecht zu erhalten, ihr Verschwinden zu verzögern suchen.

Demgemäß entsteht beim Anwachsen des primären Feldes in der Sekundärspule ein Stromstoß (und da jeder Strom ein Kraftfeld um sich erzeugt, ein sekundäres Kraftfeld) einer Richtung, beim Verschwinden des primären Kraftfeldes ein Induktionsstoß, der dem ersten entgegengesetzt verläuft, also ein Wechselstrom.



Figur 24.

In der Figur 24 deute die obere Kurve die Änderung der Kraftlinien durch einen pulsierenden Gleichstrom (11) an, die untere den durch diese Änderung erzeugten Induktionsstrom. Steigt das Kraftfeld von a bis b an, so entspricht dieser Änderung in der von den Kraftlinien durchfluteten Spule ein Impuls a' b'. Fallen die Kraftlinien in der Folge von b bis c wieder zusammen, so entsteht

sekundär ein Impuls b' c', der umgekehrt gerichtet ist, wie a' b', weil er einer umgekehrten Änderung (vorher Zunahme, jetzt Abnahme) seinen Ursprung verdankt.

Induktion ist demgemäß allgemein die Erzeugung von Potentialdifferenz an verschiedenen Punkten eines Leiters, der sich in einem Kraftfeld befindet, durch Änderung der Stärke des Kraftfeldes, oder, um bei der gewählten Ausdrucksweise zu bleiben, durch Änderung der Zahl der schneidenden Kraftlinien. Es genügt demgemäß jede Änderung der Zahl der einen Leiter schneidenden Kraftlinien zur Induktion. Jede Bewegung eines Leiters von einem Orte des Kraftfeldes zu einem anderen, stärkeren oder schwächeren Orte, jede Bewegung eines Kraftfeldes zu einem Leiter bringt Induktionswirkung hervor. Aus dem Gesetze der Erhaltung der Arbeit geht dies hervor, Die entstehende, elektrische Induktion ist das Äquivalent für die Bewegungsarbeit (kinetische Arbeit), die wir aufwenden, um die Lage des Körpers im Kraftfelde zu ändern. Der erzeugte Induktionsstrom im sekundären Leiter erzeugt selbstverständlich auch ein Kraftfeld, und zwar immer so, daß bei Nährung des sekundären Leiters eine Abstoßung, bei Entfernung eine Anziehung stattfindet. Bei der Bewegung ist diese Anziehung oder Abstoßung der Kraftfelder zu überwinden, für die hierzu verwendete Arbeit muß ein Äquivalent gewonnen werden, und dies ist der Induktionsstrom. 53. Induktionsarbeit.

Statt der Bewegungsarbeit bei Annäherung oder Entfernung des primären und sekundären Leiters können beide ruhen und nur die Anzahl der Kraftlinien des primären Kreises sich ändern. Die Änderung der Zahl der schneidenden Kraftlinien tritt an Stelle der mechanischen Bewegung. Von dieser Vorstellung sind wir eben (48) ausgegangen.

Aus dem Gesetz der Erhaltung der Energie (1, 33.) geht hervor, daß bei Vermeidung aller Fehlerquellen die gewonnene, gesamte Induktionsarbeit der aufgewendeten, induzierenden äquivalent sein muß. Praktisch kommen wir dem ziemlich nahe. Ein kleiner Teil der Primärarbeit wird sich ja immer in Joule'sche Wärme umwandeln und so verloren gehen. 54. Äquivalenz und Ökonomie.

Die Stromarbeit (35) ist, wie wir wissen, um so größer, je größer die Stromintensität ist, je höher die Spannung ist und je länger der Strom fließt. Von der Zeit können wir absehen, da die Induktion so lange erfolgt, als das primäre Kraftfeld pulsiert. Bei einem idealen Transformator, der gar keinen Verlust aufweist, muß dann die primäre Stromarbeit der sekundären gleich sein,

Kennt man irgendwoher den einem Transformator eigenen Verlust bei der Transformation, so ist damit die Ökonomie, der Nutzeffekt der Induktionsvorrichtung bekannt. Ist die primäre Wattzahl bekannt, so ist damit die sekundäre gegeben. Sie ist ebensogroß abzüglich des Verlustes.

Gemäß der obigen Fassung ist das Induktionsgesetz allgemein giltig. Das heißt: jeder im pulsierenden Kraftfelde liegende Leiter erhält Induktion. Senden wir durch die Windungen eines Solenoides, eines Elektromagneten oder durch einen beliebigen anderen Leiter 55. Allgemeingiltigkeit des Induktionsgesetzes. Selbstinduktion. Extrastrom.

einen unkonstanten Strom, so daß ein pulsierendes Kraftfeld entsteht, so durchfluten die auf- und abstrahlenden Kraftlinien den Leiter selbst, erzeugen in ihm selbst Induktion — Selbstinduktion. Es entsteht in ihm dann außer dem primären Stromflusse, der ja Erzeuger des Kraftfeldes und seiner Änderung ist, auch noch der Selbstinduktionsstrom oder Extrastrom. In jedem Momente wirkt nun dieser Induktionsstrom seiner Erzeugerin, der Kraftfeldänderung entgegen (siehe oben Richtung des Induktionsstromes). Steigt der Primärstrom und mit ihm das Kraftfeld an, so stemmt sich ihm der Extrastrom entgegen, hemmt das Anwachsen, schwächt den Primärstrom ab. Sinkt dieser auf Null und (falls es ein Wechselstrom ist) wächst umgekehrt an, so wird auch diese Änderung durch die Selbstinduktion beeinträchtigt.

56. Impedanz. Das Resultat ist eine unter Umständen sehr erhebliche Reduzierung der fließenden Stromstärke. In einer Spule die 1 Ω (Ohm) Widerstand hat, wird ein Gleichstrom nach dem Ohm'schen Gesetz bei 10 Volt Spannung 10 Ampère Stärke erreichen. Bei Wechselstrom wird dieser Betrag stark reduziert durch die Selbstinduktion oder Extrastrom — er wird vielleicht nur 1 Ampère oder weniger betragen. Es erscheint demnach so, als ob der Widerstand der Spule nun ein viel höherer sei. Diese scheinbare Erhöhung des Widerstandes in einem Leiter, die durch Extrastrom bewirkt wird, heißt Impedanz.

Da die Selbstinduktion eine Induktion ist, wie jede andere, mit dem Charakteristikum, daß sie im Leiter des ursächlichen Stromes selbst auftritt, gelten auch für ihre Stärke dieselben Regeln wie für jede Induktion. Die Selbstinduktion ist also abhängig von dem Maße der Feldstärkeänderung (also von der Zahl der in einem recht kleinen Zeitteilchen hinzutretenden oder wegfallenden Kraftlinien) und der Windungszahl des Leiters. Ist dem Leiter ein Eisenkern eingefügt, so daß die Kraftlinien (nach 42 und 44) besonders dicht verlaufen, so ist Wirkung noch beträchtlicher. Die der Konstruktion einer Spule eigentümlichen Faktoren, von denen die Selbstinduktion abhängt, nämlich: Eisenmenge und Windungszahl, bedingen den sogenannten Selbstinduktionskoeffizienten einer Spule. Je größer dieser Koeffizient, desto stärker die Selbstinduktion und desto stärker der Impedanzwiderstand.

57. Bedeutung der Induktion als Hilfsmittel zur Spannungserhöhung Rhümkorff. Der praktische Wert der Induktion liegt in Folgendem: Stromenergie wird in magnetische Energie umgesetzt, diese wieder in Elektrizität. Da aber die Spannung eines induzierten Stromes von der Windungszahl des induzierten Leiters abhängt, so besitzen wir ein Mittel, elektrische Energie in elektrische Energie von anderer, höherer oder niederer Spannung umzuwandeln. Nach dem eingangs dieses Kapitels

über die qualitative Bedingung einer Energieformation Gesagten, ist dies wichtig.

Die Apparate zur Ausführung dieser Energietransformation werden in der Technik speziell Transformatoren genannt. Eine besondere Abart davon ist der im Röntgenverfahren verwendete Funkeninduktor (Rhümkorff-Induktor).

Alle diese Transformatoren bestehen aus zwei Hauptteilen. Ein Hauptteil, der primäre, enthält die Anordnung zur Erzeugung eines pulsierenden Kraftfeldes beim Hindurchgang eines sich ändernden Stromes. In der Regel wird dieser Teil aus einem Eisenkern mit darumgelegter primärer Drahtspule aufgebaut. Der andere Teil ist die sekundäre mit der erforderlichen Windungszahl ausgestattete Spule, in der beim Hindurchfluten der sich ändernden Kraftlinien die beabsichtigte Stromspannung entsteht. Beim Funkeninduktor, bei dem es darauf ankommt, aus einem niedrig gespannten Strome aus der Zentrale einen hochgespannten zum Betriebe der Röntgenröhre zu machen, besitzt die primäre Spule relativ wenige Windungen eines dicken, die sekundäre Spule sehr viele Windungen eines dünnen Drahtes.

58. **Transformation von Strömen.**

Ein solches System von zwei Leiterkreisen, bei dem ein pulsierender Primärstrom einen Sekundärstrom induziert, der ihm abzüglich des Verlustes äquivalent ist, dient, wie erwähnt, dazu, die Spannung der Ströme zu verändern. Die Spannung des Sekundärstromes hängt ab von der Windungsanzahl der Sekundärspule (unter anderem) (s. 51). Besitzt die Sekundärspule eine sehr große Windungsanzahl, so ist die Sekundärspannung entsprechend hoch und damit bei einer gegebenen Leistung die Stromintensität gering, da das Produkt, die Wattzahl, die gleiche bleiben muß. Durch konstruktive Faktoren (Windungszahlen, Feldanordnung) kann mit Hilfe solcher Apparate die Intensität und Spannung des Induktionsstromes vorausbestimmt werden.

Bei bekanntem Transformationsverlust eines Umformers kann auf Grund der primären Stromarbeit auf die sekundäre Intensität geschlossen werden, wenn die Sekundärspannung berechnet ist. Denn die sekundäre Wattzahl ist gleich der primären, abzüglich des Verlustes. Wenn der induzierende Strom 100 Watt, 20 Volt $\times$ 5 Ampère beträgt und auf die 500fache Spannung bei einer Ökonomie des Transformators von 80% (20% Verlust) transformiert wird (10000 Volt), so kann die Stromstärke nicht größer sein, als 0,008 Ampère oder, da man den tausendsten Teil des Ampères als Milliampère bezeichnet, 8 Milliampère.

59. **„Kupfergewicht“ eines Transformators.**

Noch ein weiterer konstruktiv wichtiger Zusammenhang zwischen der Stromleistung und der Dimensionierung der Apparate sei hier angefügt. Bei einer gegebenen Spannung hängt die Stärke

des Stromes ab von der Länge und Dicke des Leiters, von seinem Widerstand. Wird der Drahtquerschnitt zweimal so groß gewählt, so kann die Stromstärke doppelt so groß sein, die Wattzahl verdoppelt sich. Verdoppelt sich die Spannung, dann kann der Draht doppelt so lang sein für die gleiche Stromstärke. Die gesamte Masse des Leiters ist in beiden Fällen 2mal so groß, weil die Wattzahl durch Verdopplung der Spannung auf den zweifachen Wert angestiegen ist. Der Leiter besteht technisch fast stets aus Kupfer. Einer bestimmten Wattzahl, die in einem Leiter konsumiert wird, entspricht theoretisch immer eine beste Dimensionierung dieses Leiters, ein bestimmtes Leitungsgewicht. Das Leitungsgewicht der primären und sekundären Spule eines Transformators soll der darin verbrauchten bezw. induzierten Wattzahl entsprechen. Die Sekundärspule soll demgemäß theoretisch gerade um so viel weniger Leitungsgewicht haben, als dem Transformationsverluste entspricht.

Da in der Technik fast durchgängig Kupfer als Stromleitungsmaterial benutzt wird, so findet man meist den Ausdruck „Kupfergewicht" statt „Leitungsgewicht."

60. Die Induktionen in Bezug auf die Leiter.

Die elektrische Induktion betrifft, wie erwähnt, alle im Magnetfelde liegenden Leiter. Es erhält infolgedessen eine Induktion zunächst der Eisenkern des Elektromagneten, eine Induktion, die wohlbemerkt mit der Magnetisierung nichts zu tun hat.

Wirbelströme und ihre Beseitigung.

Durch das pulsierende magnetische Feld, durch die Änderung in der Zahl der schneidenden Kraftlinien erhalten nebeneinanderliegende Punkte im Eisen Potentialdifferenzen, die in einem massiven Eisenkern zu quer verlaufenden, wegen der großen Feldstärke sehr intensiven Strömen Veranlassung geben. (Foucaultsche Wirbelströme.) Eisen ist ein Leiter von ziemlich bedeutendem Widerstande, die Ströme sind stark, und eine große Erhitzung des Eisenkernes ist die Folge (Joule'sche Wärme 37).

Die Wirkung der Wirbelströme äußert sich also darin, daß sie für einen großen Teil der aufgewendeten Induktionsarbeit ein Wärmeäquivalent schaffen, das an und für sich schädlich ist (es kann sich bis zur Glut des Eisenkerns steigern) und auch die übrige Induktion schwächen. Man ist gezwungen, die Wirbelströme zu beseitigen.

Um dieser Schädlichkeit vorzubeugen, unterteilt man den Eisenkern in feine Drähte oder Bleche, die durch Isolationen getrennt sind. Nun entstehen wohl in den einzelnen Punkten des Eisens Potentialdifferenzen, die sich aber nicht ausgleichen können. Ströme, Arbeitsverbrauch kommen fast nicht zu Stande.

Auf richtige Anordnung des Eisenkernes kommt viel an, wie aus späterer Deduktion folgt. Die Isolation des Eisenkernes gegen Foucaultströme muß zweckentsprechend und gut sein. Zuerst meines Wissens von Boas wurden beste Dynamobleche mit Papierisolation benutzt, die von verschiedenen Firmen (Allgem. Elektr.-Ges., Siemens & Halske, Elektrotechnisches Laboratorium Aschaffenburg, jetzt: Vereinigte Elektrotechnische Institute Frankfurt-Aschaffenburg) ausschließlich verwendet werden.

Die Dimensionierung des Eisenkernes ist für die Konstruktion des Transformators, speziell des Induktoriums, sehr wichtig, weil von ihm die Stärke des Kraftfeldes und so die Induktion in der Sekundärspule, die Selbstinduktion und endlich die Phasenverschiebung abhängt. Je stärker die Magnetisierung durch die Ampèrewindungen wird, desto besser wird das vorhandene Eisen ausgenützt. Nähert sich die Magnetisierung der Sättigung (45), so nimmt sie nicht mehr der zunehmenden Ampèrewindungszahl entsprechend zu und der Apparat wird unregulierbar, weil man die Feldstärke nicht mehr entsprechend der Stromverstärkung vermehrt. Der Konstrukteur nennt das: ein schlechtes Feld bekommen, und achtet darauf, daß er auch bei starker Belastung des Apparates (großer Stromstärke) nie zu nahe an die Sättigung herankommt.

Sättigung und Phasenverschiebung sind zwei, wenn auch nicht hauptsächliche, so doch wichtige Umstände für die Kenntnis des Induktionsorganes.

61. Resümee. Überleitung zur Röntgentechnik. Einteilung der Röntgentechnik.

Damit beschließen wir diese physikalische Einführung in das Röntgenverfahren. Das ganze Kapitel ist ein in seinen Zielen neuer Abschnitt der Elektrizitätslehre. Wie die Elektrochemie sich mit den Zusammenhängen chemischer und elektrischer Energie, wie die Lehre von der elektrischen Beleuchtung sich mit den Transformationen der Elektrizität in Licht befaßt, so befaßt sich die physikalische Grundlage des Röntgenverfahrens mit der Transformation elektrischer Energie in Röntgenstrahlenenergie.

Im ersten Abschnitt suchten wir ein Bild zu gewinnen über den Verlauf elektrischer Energieäußerungen, ein Bild über den elektrischen Strom und seine Dimensionen. Ist doch die Kulturbedeutung des elektrischen Stromes so groß, daß wir alle in hunderten unserer täglichen Lebensfunktionen von ihm abhängen und im geraden Gegensatz hiezu die Vorstellung davon, was man sich eigentlich unter einem elektrischen Strom zu denken hat, äußerst wenig verbreitet. Sodann bemühten wir uns, über die neue Energieform X-Strahlung eine Vorstellung zu bekommen und über den Zusammenhang ihrer Eigenschaften. Endlich studierten wir die Transformationen der Elektrizität als Ausgangsenergie in Wärme, Licht, besonders aber in Magnetismus und Elektrizität anderer Dimensionen, die sogenannte Induktion. Erkannten wir doch in der Induktion das Mittel zur Gewinnung jener besonderen Art der elektrischen Energie, die sich in die gewollte Energie, in X-Strahlen umwandeln läßt.

Zur Erzeugung der X-Strahlen bedarf es demnach einer mehrfachen Transformation der Energieformen. Zunächst muß aus dem gewöhnlichen Strom der Zentrale oder der Akkumulatoren-

batterie durch Induktion jene besondere Art von Strom gewonnen werden, die hinsichtlich Spannung, Intensität und Kurve sich zur Erzeugung von X-Strahlen überhaupt eignet, dann wird diese besondere Form in dem Energietransformator „Röntgenröhre" in die gewollte Form übergeführt.

Zur bewußten und gewollten Einleitung dieser Umwandlungsvorgänge bedarf es besonderer Energietransformatoren. Ist daher die Physik des Röntgenverfahrens die Beschreibung der Energieverläufe und Energieumwandlungen, die ihm zu Grunde liegen, so ist die Röntgentechnik die Übertragung dieser Erkenntnisse ins Praktische: Der Aufbau von Apparaten zur bewußten Einleitung, Beobachtung, Beeinflussung dieser Transformationen.

Von selbst zerfällt das Gebiet der Röntgentechnik demnach in drei Teile. Der erste beschäftigt sich damit, die bestgeeignete elektrische Stromenergieform — durch Induktion — hervorzubringen. Es ist der rein elektrische Teil der Röntgentechnik und des Röntgeninstrumentariums. Der zweite Abschnitt der Röntgentechnik befaßt sich mit der zweiten Energieumwandlung: Elektrizität in X-Strahlen. Es ist das die Technik der Vakuumröhren, der Röntgenröhren. Der dritte Teil endlich hat die Nutzbarmachung der Strahlung für unsere speziellen Zwecke zum Gegenstande, ist für die diagnostischen Ziele eine Umwandlung der X-Strahlung in Bilder, eine Reproduktionstechnik. Und zwar unterscheidet man hier wieder eine Technik der Durchleuchtung und der Aufnahme.

Für die therapeutische Technik, also die bewußte, gemessene und beeinflußte Applikation der Strahlenenergie zur Therapie dienen endlich besondere Apparate, die in ihrer Gesamtheit darstellen: Die Technik der Röntgentherapie.

II.

TECHNISCHER TEIL.

---

1. Kapitel.

Definition des Röntgenverfahrens als diagnostische Methode, Ziele der Röntgentechnik.

Auf Kombination der Eigenschaften der X-Strahlung beruht ihre diagnostische Verwendung. Sie **durchdringen** die Körper im allgemeinen im umgekehrten Verhältnis des spezifischen Gewichtes und bringen chemische Wirkungen und Fluoreszenzwirkungen auf der photographischen Platte und dem Bariumplatinzyanürschirm hervor. X-Strahlung, die im Sinne der Zentralprojektion wandernd ein Gebilde mit Bestandteilen verschiedener Dichte passiert hat, ist nach Durchdringung dieses zusammengesetzten Körpers proportional der Dichtigkeitsanordnung geschwächt. Sie ist also Trägerin dieser Dichtigkeitsanordnung. Gelangt sie auf eine Reaktionsebene (photographische Platte — Leuchtschirm) so reagiert diese entsprechend der Strahlungsintensität in jedem Punkte, demgemäß also entsprechend der Durchlässigkeit des vorher bestrahlten Objektteiles. Es entstehen somit Schattenprojektionen der Dichtigkeiten. Die Methode der Röntgen**untersuchung** ist demgemäß eine **zentralprojektivische Darstellung der Dichtigkeitsverhältnisse, eine Methode der Differenzierung von Dichtigkeitsunterschieden.** 62. Das Röntgenverfahren als diagnostische Methode.

In dieser Definition ist der ganze Inhalt des Röntgenverfahrens als Untersuchungsmethode eingeschlossen, sie sagt uns aber zugleich auch alles Wünschenswerte über den technischen und medizinischen Ausbau des Verfahrens.

Prinzipiell umfaßt vom physikalischen Standpunkt aus das Verfahren **Alles**, was unter Dichtigkeitsdifferenzierung fällt. Der Inhalt des technischen Ausbaus wäre immer mehr verfeinerte Differenzierung, prinzipiell wäre Alles zugänglich. Jeder, auch der feinste, normale oder pathologische Prozeß in den Organen ändert primär die Art, die Gruppierung und Zusammenlagerung der Moleküle und Zellen, ist also zuerst eine Veränderung der Dichtigkeit. Alles das bringt theoretisch das Röntgenverfahren zur Darstellung; praktisch natürlich nur in einer gewissen Annäherung. Die Waffen sind noch stumpf, sie zu verfeinern, zu schärfen ist das Ziel der

Technik. Es gelingt uns praktisch nicht, die allerfeinste Differenzierung darzustellen, die Darstellung von immer Feinerem zu ermöglichen ist das Ziel der Röntgentechnik. Das hauptsächliche Hindernis ist die Sekundärstrahlung, welche die feinen Differenzierungen verwischt, löscht. Die Sekundärstrahlung zu eliminieren, die Primärstrahlung überragender zu verwenden, ist deshalb auch eine Hauptaufgabe der Röntgentechnik.

Wir können soweit gehen, daß wir, abgesehen von den kleinen praktischen Vervollkommnungen in Bezug auf Einfachheit, Zuverlässigkeit, jede Neuerung in der Röntgentechnik von diesem Standpunkt aus betrachten: ob sie eine Verfeinerung in der Differenzierungsmöglichkeit darstellt oder nicht. Ist eine Neuerung so beschaffen, daß sie uns eine feinere Dichtigkeitsdifferenzierung darzustellen gestattet, dann ist sie ein prinzipieller Fortschritt der röntgenologischen Untersuchungsmethode. Eröffnet sie diese Möglichkeit nicht, so handelt es sich günstigenfalls um eine brauchbare formale Änderung, um eine Vervollkommnung der Methode als solche handelt es sich nicht.

Als medizinische Methode ist die röntgenologische Untersuchung eine neue physikalische Untersuchungsmethode. Es ist beim physikalischen Untersuchen uns nicht immer gegenwärtig, was der Arzt eigentlich tut, wenn er aus der Perkussion, Auskultation, Palpation auf das „Kranke“ und „Gesunde“ im Organismus schließt. Zunächst stellt er am untersuchten Organe nur den Grad der physikalischen Eigenschaft fest: den Grad des Schalleitungsvermögens, der Resonanz, der Elastizität, Härte. Das erste Ergebnis ist also lediglich eine Beurteilung des Grades einer physikalischen Eigenschaft. Durch eine, aus langer Übung und Erfahrung geschaffene und dadurch meist unbewußte Assoziation verbindet sich mit dem Bilde der physikalischen Eigenschaft die Vorstellung einer normalen oder anomalen (pathologischen) Entwicklung. Diese Assoziation muß immer bei der physikalischen Untersuchung, wenn auch unbewußt, vorhanden sein.

Ein guter Diagnostiker auf Grund physikalischer Untersuchungsmethoden ist ein solcher, der mit guten und geübten Sinnen ausgestattet, feine Differenzen des Schalles, der Resonanz, der Härte wahrnimmt und bei dem die Assoziation dieser physikalischen Ergebnisse mit den Krankheitsbildern sehr fein und sicher ausgebildet ist.

Während aber ähnliche Schallbilder durch Körper verschiedener Art, ähnliche Härtegrade ebenfalls durch ganz heterogene Prozesse verursacht werden können, und während es denkbar ist, daß kleine organische (Krankheits-) Veränderungen gar keine merk-

liche Alteration dieser physikalischen Eigenschaften hervorbringen, offenbart uns die röntgenologische Untersuchungsmethode von den physikalischen Eigenschaften der Organe die primärste, gewissermaßen die spezifischste, eröffnet uns einen unmittelbaren Blick in den molekularen oder zellularen Aufbau der Organe selbst. Deshalb ist sie prinzipiell die weitaus umfassendste, bedeutungsvollste von allen Untersuchungsmethoden. Sie zeigt uns nicht mehr oder minder sekundäre, durch verschiedene Ursachen vielleicht in gleicher oder ähnlicher Weise beeinflußbare physikalische Eigenschaften: Resonanz, Schalleitungsvermögen, Härte, sondern sie zeigt uns unmittelbar den Aufbau des Organs, seine Dichte.

Wir müssen annehmen, daß jede organische Veränderung bei den kleinsten Bausteinen, bei den Molekülen und Zellen anfängt, deren Art und Gruppierung alteriert. Diese Alteration ist eine Veränderung der Dichte, und Differenzierung von Dichtigkeiten ist die röntgenologische Untersuchung.

Somit läßt sich die Kunst des röntgenologischen Diagnostikers und die Stellung dieser Kunst gegenüber den übrigen physikalischen Untersuchungsmethoden wie folgt definieren: Sie besteht in der ausgeübten Fähigkeit, mit Bildern, die nur Dichtigkeitsdifferenzen darstellen, die Vorstellung des „Kranken“ oder „Gesunden“ zu verbinden, ganz analog wie bei der Auskultation das Bild des „Gesunden“ und „Kranken“ aus dem Schallbild abgeleitet wird; nur daß die Röntgenmethode eben etwas Ursprünglicheres als das kontingente Schallbild gibt. Die Kunst, durch bewußten oder unbewußten Rückschluß aus dem Dichtigkeitsbild das Krankheitsbild abzuleiten, das ist die Kunst des Arztes bei der Röntgenuntersuchung. Es ist aber eine Kunst, die keineswegs die alten physikalischen Untersuchungsmethoden beeinträchtigt, minderwertig macht, überflüssig erscheinen läßt. Es ist vielmehr eine Kunst, die als gleichberechtigte, wenn auch prinzipiell wertvollere Schwester sich zu den vorhandenen Methoden gesellt. Es ist durch Röntgen zu den bisher beobachteten physikalischen Eigenschaften der Organe die Beobachtung einer neuen getreten.

Wie aber kein Mensch glauben wird, daß man ohne Perkussionskurs nutzbringend perkutieren wird, wie Jeder weiß, daß man in diesen Fertigkeiten nur mühsam und durch Erfahrung zur Vollkommenheit steigt, so sollte es Niemand unternehmen, ein Röntgenbild ohne langdauernde, eingehende, mühsame Voruntersuchung lesen zu wollen. Auch die Kunst des Bilderlesens, des Rückschließens aus Dichtigkeitsbildern auf gesund und krank will erworben, das heißt mit Mühe zu eigen gemacht sein.

2. Kapitel.

Der elektrische Teil der Röntgentechnik.

A.

Die Stromquellen.

63. Elektrisiermaschine. Die Röntgenröhre kann unmittelbar mit den hochgespannten Entladungen großer Influenzelektrisiermaschinen betrieben werden. Diese Methode wurde insbesondere früher in Frankreich und England, auch in den Vereinigten Staaten angewandt. Man kombinierte eine ganze Serie von rotierenden Scheibenpaaren, schaltete also eine Reihe einzelner Maschinen parallel. So wurde die notwendige Elektrizitätsmenge gewonnen. Das ganze wurde durch Gasmotoren, Elektromotoren, Turbinen angetrieben.

Richtig ist, daß die so erzeugten Entladungen der dritten Forderung (32) nach gleichgerichteten Impulsen entsprach. Indessen sind solche Apparate nicht nur kompliziert, sehr teuer und nicht übermäßig zuverlässig: auch die Intensität des erzeugten Stromes läßt zu wünschen übrig. Mehr und mehr wird deshalb die in Deutschland von jeher überwiegend benutzte Methode der Stromtransformation benutzt, die wir deshalb auch allein zum Gegenstande der Betrachtung machen.

64. Gewinnung der geeigneten Elektrizitätsform durch Induktion. Diese Methode geht immer aus von einer elektrischen Stromquelle, wie sie uns eine elektrische Zentrale größeren oder geringeren Umfanges oder, wo eine solche fehlt, eine Batterie zur Verfügung stellt.

Dieser primäre Strom wird dann mit Hilfe der Faraday'schen Induktion (siehe I. 48) transformiert, das heißt in jene Form übergeführt, die sich wiederum zur Erzeugung von X-Strahlen in Vakuumröhren eignet. Wie diese Form geartet ist, wurde oben (32) auseinandergesetzt.

In den elektrischen Zentralen wird nun Strom von sehr ver-

schiedener Art hervorgebracht. Die Apparate (Induktorium, Unterbrecher etc.) zur Transformation der gewollten Stromform aus der vorhandenen, müssen sich naturgemäß der gegebenen Art des Stromes anpassen, müssen ihr entsprechen. Deshalb seien im nachfolgenden kurz die in Frage kommenden Arten des primären Stromes dargestellt.

1. Gleichstrom von 60 bis 65 Volt Spannung. Diese Stromart findet sich in älteren, kleineren Privatanlagen. Sie ist zum Betriebe von Röntgenapparaten sehr gut geeignet (siehe auch unter Schließungsinduktion). Indessen wird sie bei Neuanlagen faßt nie verwendet, verschwindet daher mehr und mehr. 65. Gleichstromzentralen.

2. Gleichstrom von 110 bis 120 Volt Spannung. Diese Stromart war bis vor kurzer Zeit die häufigste und beliebteste. Doch eignet sie sich, wegen der verhältnismäßig niederen Stromspannung, ebenso wie die vorhergehende, nicht zu Anlagen mit weit verzweigten Stromnetzen. Deshalb verschwindet sie leider auch allmählich. Für Röntgenzwecke ist sie die beliebteste. Der Stromcharakter ist physiologisch harmlos; der Strom schmerzt selbst bei direktem Durgange durch den Körper kaum. Die Konstruktion der Röntgenapparate für diese Stromart ist relativ leicht.

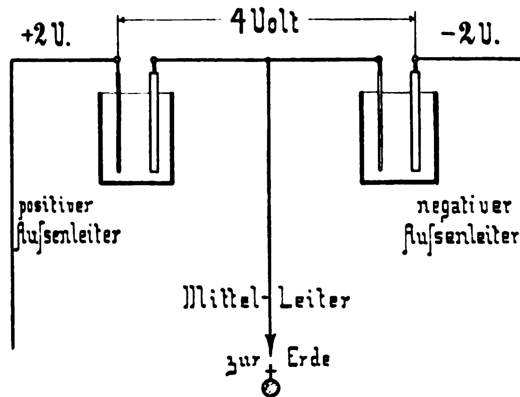
3. Gleichstrom von 150 Volt. Die Konstruktion der Apparate beginnt schwieriger zu werden, da bei der erhöhten Spannung die Form der sekundären Impulse (Forderung 3. 32) gefährdet wird. (Vergl. unter Schließungsinduktion 74.) Doch läßt sich der Betrieb immerhin noch mit verhältnismäßig einfachen Apparatkonstruktionen durchführen.

4. Gleichstrom von 220 Volt. Die Gefahr der ungünstigen Sekundärimpulse wächst (Schließungsinduktion). Der direkte Anschluß der Apparate wird in der Mehrzahl der Fälle unzulässig. Es muß zu einem Ausweg, zur Reduzierung der Spannung (Abzweigwiderstand) als einem besonderen Mittel zur Eliminierung dieser Schädlichkeit gegriffen werden.

5. Dreileitersysteme des Gleichstromes. Aus Gründen zweckmäßiger und rationeller Verteilung finden die sogenannten Dreileitersysteme vielfach Verwendung. Die Gesamtspannung, die zwischen den zwei Polen des Systemes liegt (zum Beispiele 220 Volt) wird durch einen zwischengeschalteten dritten Leiter geteilt. Dieser dritte Leiter — „Mittelleiter" im Gegensatz zu den beiden anderen „Außenleitern" genannt — besitzt gegenüber jedem Außenpol die Hälfte der Gesamtspannung als Potentialunterschied. In der Regel wird (was aber für unsere Zwecke wenig Belang hat) der Mittelleiter mit der Erde verbunden, „geerdet". Der Erde schreibt man das Potential 0 zu. Bei einem Dreileitersystem von 66. Dreileitersysteme.

2 × 110 = 220 Volt sind also folgende Spannungsverhältnisse vorhanden: Der Mittelleiter ist geerdet, hat das Potential 0. Der eine Außenleiter, der positive, hat das Potential + 110, der andere, negative, das Potential — 110. Zwischen ihnen ist die Spannung 220 Volt, zwischen jedem von ihnen und dem Mittelleiter die Spannung 110 Volt.

Eine einfache Versuchsanordnung läßt uns die Verhältnisse klar übersehen. Zwei Zellen Akkumulatoren seien (Fig. 25) in Serie (siehe 8) geschaltet. Aber anstatt daß nun die Leitungen



Figur 25.

von den beiden freien Polen aus wie bei Fig. 3 fortgeführt werden (Außenleiter), sei auch von der Verbindungsleitung (— Pol der ersten Zelle zum + Pol der zweiten) ein Stromweg fortgeführt (Mittelleiter). Dieser Stromweg sei mit der Erde verbunden. Dann hat der positive Außenleiter das Potential + 2, der negative das Potential — 2.

Nun lassen sich stromverbrauchende Apparate auf verschiedene Art anschließen. Entweder zwischen die Außenleiter — dann werden sie mit der vollen Spannung betrieben (hier zum Beispiel eine Glühlampe für 4 Volt) oder zwischen Mittelleiter und einen Außenleiter (Glühlampe für 2 Volt Betriebsspannung). In der Regel werden nun die stromverbrauchenden Apparate zwischen Mittelleiter und einem Außenleiter angeschlossen.

Solange dabei die Belastung in beiden Hälften des Verbrauchsnetzes gleich ist, fließt ersichtlich im Mittelleiter gar kein Strom zur Stromquelle. Wenn indessen die Belastung ungleichmäßig wird, auf der einen Seite merklich mehr Strom konsumiert wird, wie auf der

anderen, tritt der Mittelleiter in Tätigkeit und die Stromquelle wird ungleichmäßig beansprucht.

Dies letztere nun fürchten die Elektrizitätswerke sehr und suchen es im Interesse der Zuverlässigkeit und Gleichmäßigkeit ihres Betriebes zu verhüten. Sie achten darum auch sehr darauf, daß in jeder Hälfte ihres Stromnetzes ungefähr gleiche Stromentnahmen stattfinden, also gleichviele Beleuchtungskörper, Motore u. dergl. in Tätigkeit sind.

Der Röntgenologe hat, um seinen Apparat an möglichst niedrige Spannung anzuschließen, das Interesse, nur einen Außenleiter und den Mittelleiter zu benutzen. Das Werk widersetzt sich dem und sucht den Anschluß an die beiden Außenleiter zu erzwingen. In der Regel wird aber doch schließlich der Anschluß an Mittelleiter und Außenleiter genehmigt unter Berücksichtigung folgender Gründe, die der Röntgenologe ins Feld führen kann:

I. Der Apparat ist täglich ja nur relativ sehr kurze Zeit — etwa 1/2 Stunde — im Betrieb. Der ganze Stromkonsum und somit auch die ungleichmäßige Entnahme fällt deshalb nicht in's Gewicht.

II. Die Entnahme erfolgt meist während der Ordinationszeit, also unter Tags, weniger oder nie Abends zur Lichtzeit. Deshalb ist Störung der Beleuchtung durch einseitige Mehrbelastung nicht zu fürchten.

III. Der Anschluß an die Außenleiter verdreifacht oder vervierfacht die Stromentnahme, so daß die Aufstellung des Apparates überhaupt in Frage kommen könnte. Bei 2×220 Volt = 440 Volt ist der Anschluß an die Außenleiter überhaupt unmöglich. Es kann in diesem Fall der Betrieb nur mit Hilfe eines Umformers aufrecht erhalten werden.

IV. Die Elektrizitätswerke pflegen allgemein im Interesse gemeinnütziger, wissenschaftlicher, sanitärer Verwendungen des Stromes Ausnahmen zuzulassen.

Läßt sich bei einem Dreileitersystem von 2×110 Volt der Anschluß an den Mittelleiter und einen Außenleiter erreichen, so ist der Betrieb eben mit 110 Volt Gleichstrom, wie wir oben sahen, sehr günstig. Wird Anschluß an die beiden Außenleiter zur Vorschrift gemacht, so gilt das über den 220 Volt-Betrieb Gesagte.

Bei Dreileitersystemen von 2×220 Volt, sind die Verhältnisse nun immerhin recht mißlich. Selbst beim Anschluß an den Mittelleiter scheinen Störungen besonderer Art im Röntgeninstrumentarium aufzutreten, die starken Röhrenverbrauch durch ungünstige Entladungskurve im Gefolge haben. Sie zwingen häufig dazu, den Elektrolytunterbrecher durch den Quecksilberunterbrecher zu ersetzen und den Betrieb mit großer Vorsicht auszugestalten.

Beim Anschluß an die Außenleiter 440 Volt vollends bleibt

kein anderer Weg als die Benutzung des rotierenden Umformers. Der Netzstrom wird benutzt, um einen Elektromotor anzutreiben, dieser seinerseits bewegt eine Gleichstromdynamo von entsprechender Leistung mit 65 oder 110 Volt Spannung. Man hat also in einem solchen Falle seine eigene kleine Zentrale.

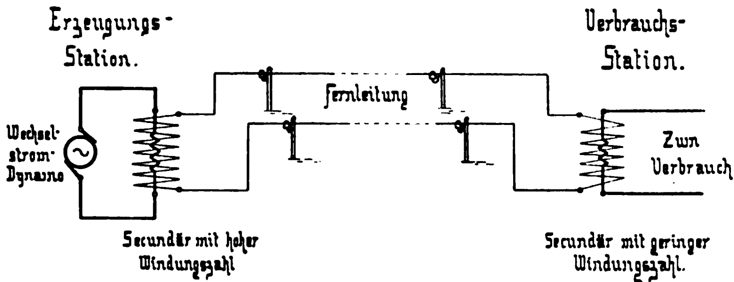
Erwähnt sei noch, daß Gleichstromspannungen von 200 Volt und mehr auch physiologisch schon recht unangehm wirken. Spannungen von 440 und 500 Volt sind schon direkt gefährlich.

6. Gleichstrom von 500 Volt wird zu elektrischen Straßenbahnen benutzt. Für den Betrieb des Röntgenapparates kann er nur mit Hilfe des Umformers nutzbar gemacht werden (siehe oben bei 5).

67. Wechselstrom als Stromquelle. 7. Wechselstrom. Über den Verlauf eines Wechselstromes sind wir durch die Darlegungen des ersten Teiles (9 ff.) orientiert.

Durch Induktion kann dem Wechselstrom mit Hilfe eines Transformators von genügend vielen Sekundärwindungen (57) eine genügend hohe Spannung gegeben, die Forderung 1 (32) erfüllt werden. Indessen würde die dritte Voraussetzung zum Betriebe der Röntgenröhre nicht erfüllt sein.

Nun wird die Einführung des Wechselstroms in elektrischen Zentralen immer häufiger, nimmt immer weiteren und größeren Umfang an. Denn keine andere Stromform eignet sich durch die Leichtigkeit der Verwandlung in Ströme anderer Spannung aber gleicher Kurve so sehr zur Verteilung über große Bezirke. Da die Dicke eines Stromweges (Querschnitt der Leitung) der Stärke (Ampèrezahl) des zu transportierenden Stromes entspricht, wird die Fort-



Figur 26.

leitung einer bestimmten Wattgröße um so kostspieliger, je geringer die Spannung und je größer die Stromstärke der fortzuleitenden Energie ist. Um Wechselstrom von großem Arbeitsvermögen (großer Wattzahl) durch dünne Leitungen über große Entfernungen hin zu leiten, wird er in Transformatoren mit großer sekundärer Windungszahl in hochgespannten Wechselstrom von geringer Stromstärke umgeformt, durch dünne Leitungen über weite Strecken

unter entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen fortgeleitet und am Bedarfsorte wieder in geringe Spannung und große Ampèrezahl zurückverwandelt (Figur 26). Dazu bedarf es lediglich eines ähnlichen Transformators wie des ersten, nur, daß die Spule mit hoher Windungszahl nunmehr die primäre ist, während aus der sekundären mit niedriger Windungszahl und großem Leitungsquerschnitt die Entnahme stattfindet.

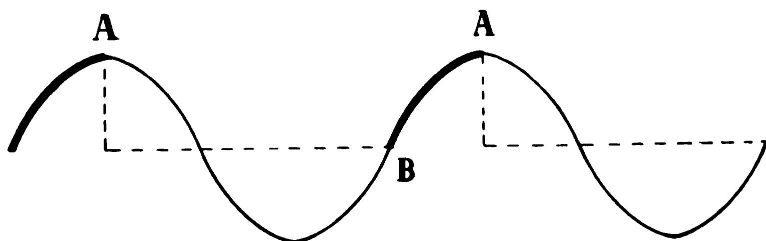
Je mehr nun die Anwendung des Wechselstromes in den Städten und Überlandzentralen überhand nimmt, desto wichtiger werden Bestrebungen zur Verwertung des Wechselstromes zu medizinischen speziell zu röntgenologischen Zwecken. Drei Konstruktionswege stehen offen.

Der erste, für den diagnostischen Röntgenapparat empfehlenswerteste, benutzt den Wechselstrom zum Antrieb eines Motors, der seinerseits eine Gleichstromdynamo von 65 oder 110 Volt antreibt. Wir haben bei dieser guten aber teuren Lösung den Fall des Umformerbetriebes, wie er oben bei Gleichströmen hoher Spannung schon beschrieben wurde.

Ein zweiter, wesentlich billigerer, aber auch nicht gleich vollkommner Weg, der bei Betrachtung des Elektrolyt-Unterbrechers für Wechselstrom, des Boas-Synchron-Unterbrechers und der Goetze-Schaltung noch zu besprechen sein wird, schneidet aus der Kurve des Wechselstromes bestimmte Phasen heraus.

68. Die Kurve des notwentigen Stromes und die Wechselstromkurve.

Die Kurve eines Wechselstromes kennzeichnet ihn von vornherein als ungeeignet für den Betrieb des Röntgenapparates, da es Impulse wechselnder Richtung sind, welche die Röntgenröhre erhalten würde. Der Wechselstrom besitzt aber einzelne Phasen in seinem Verlaufe, die den Phasen des gewünschten, für den Röntgenapparat geeigneten Verlaufes ganz analog sind. Gibt es ein Mittel, die schädlichen Phasen der Kurve auszuschalten, so kann der Wechselstrom benutzt werden.



Figur 27.

Wenn jeweils im Punkte A. (Fig. 27) der Kurve ein Unterbrecher einsetzt und den Strom unterbrochen hält, während er seine

Richtung ändert, ihn wieder einschaltet, im Punkte B, wo er im gleichen Sinne zu wachsen beginnt, bei A wieder unterbricht, so wird hierdurch ein intermittierender Gleichstrom erzeugt, der den Anforderungen (siehe 32) entspricht.

Der dritte Weg endlich, den die Neuzeit brachte und dessen Anbahnung sich mit dem Namen des Ingenieurs Koch verbindet, transformiert den Wechselstrom als solchen zunächst in sehr hohe Spannung und schneidet dann durch Vorrichtungen im Hochspannungskreise geeignete Impulse heraus. Es pulsieren dann durch die Röhre sinusähnliche langsam verlaufende Gleichstromwellen, die insbesondere für therapeutische Zwecke sehr geeignet sind.

8. Wechselströme höherer Spannung als 120 Volt. Diese Stromarten können ohne weiteres in geringere Spannung heruntertransformiert werden. Dann ist der zweite der oben genannten Wege gangbar. Der erste (Umformerbetrieb) und dritte (Hochspannungstransformator) ist immer gangbar, da man Motoren und Transformatoren für die verschiedensten Wechselstromspannungen bauen kann.

9. Mehrphasenstrom. Drehstrom. Mit Drehstrom (13b) läßt sich die erste der oben genannten Lösungen besonders gut bewerkstelligen, da Drehstrommotoren billiger und leistungsfähiger sind als Einphasenstrommotoren. Die obenerwähnte Lösung zwei erfolgt einfach durch Benutzung nur zweier Leitungen des Netzes, zwischen denen nur einfacher Wechselstrom pulsiert. Das gleiche gilt von der dritten Lösung.

69. Batteriebetrieb. Prinzip der Akkumulatoren.

10. Batteriebetrieb. In Ermanglung der Anschlußmöglichkeit an eine elektrische Zentrale muß zu einer Akkumulatorenbatterie gegriffen werden. (Eingehende Erörterung dieser Betriebsart siehe Kompendium der Röntgenographie Seite 42, 116, 119, 157, 162, 190, 191). Hier sei das Wichtigste über diese Stromquelle kurz angegeben.

Wie (8) im ersten Teile angegeben, handelt es sich um Serienschaltung von Akkumulatorenzellen, — in der Regel 12 bis 16 einzelne Zellen — von denen jede die Durchschnittsspannung 2 Volt besitzt, so daß die gesamte nutzbare Spannung, gleich der Zellenanzahl mal 2, also im allgemeinen 24 bis 32 Volt ist. Solche Akkumulatorenzellen werden mit Recht auch „Sekundärelemente“ genannt. Sie erzeugen den Strom nicht, sondern sie sind blos Aufspeicherungs-Reservoire für Elektrizität.

Die hineingegebene elektrische Energie einer Zentrale wird in chemische Energie transformiert und in dieser Form aufgespeichert, um nach Bedarf bei Stromentnahme wieder in elektrische

Form zurückverwandelt zu werden. Dieser 2. Prozeß, der Entladeprozeß, ist im ersten Kapitel des 1. Teiles (8) bereits kurz dargestellt.

Der dem Ganzen zugrunde liegende Vorgang ist der folgende: Tauchen zwei möglichst poröse Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure, und wird durch dieses System ein Gleichstrom von etwa $2^1/_2$ Volt Spannung gesandt, so oxydiert sich die mit dem Plus-Pol der Elektrizitätsquelle verbundene Bleiplatte in Bleisuperoxyd, während die andere, die bei Berührung mit der verdünnten Säure einen Überzug von Bleioxyd angenommen hatte, zu reinem Schwammblei reduziert wird.

Ist das Ganze von der Säure benetzte Blei der positiven Platte oxydiert, das der negativen Platte reduziert, so ist die Akkumulatoren-Zelle geladen und nach Entfernung der primären Stromquelle besteht zwischen den beiden eintauchenden Elektroden eine Potential-Differenz von etwas über 2 Volt.

Das Maß der Fähigkeit, Elektrizität solchermaßen in chemische Energie umzuwandeln, die Kapazität eines Akkumulators, hängt ab von der Menge des porösen, säurebenetzten Bleies. Um das Fassungsvermögen möglichst groß zu machen, werden zum Bau von Akkumulatoren deshalb auch nicht einfache metallische Bleibleche, sondern außerordentlich sinnreich konstruierte Körper benutzt, die eine möglichst große Berührungsfläche zwischen Säure und Blei besitzen. (Verfahren von Planté und Faure vergl. auch Dessauer und Wiesner Kompendium der Röntgenographie Seite 43 f.)

Solcher Akkumulatorenzellen wird nun eine Anzahl in Serie geschaltet. Dabei addieren sich wie in (8) dargestellt, die Spannungen und es entsteht die Batterie. Die notwendige Gesamtspannung, ebenso die notwendige Kapazität, ergibt sich aus der Konstruktion des Röntgenapparates. Sie wird in Praxi ebensohäufig zu groß als zu klein gewählt. 70. **Behandlung der Akkumulatoren.**

Akkumulatoren als chemische Energietransformatoren sind nun ziemlich empfindliche Apparate. Vor allen Dingen sind sie peinlichst vor jeder, auch der geringsten, Unreinlichkeit zu schützen. Die Säure darf kein Arsen enthalten, vor allen Dingen darf aber auch keine Verunreinigung durch Kupfer, Zinn oder Eisen erfolgen. Auch durch Stoßen und heftige Bewegung wird die Lebensdauer der Akkumulatoren stark verkürzt, ja es kann sogar unter Umständen zu momentaner Zerstörung kommen. Das durch besondere Maßnahmen feinzerteilte Schwammblei haftet nicht sehr fest auf den Kernen oder Trägern der Platte. Es lockert sich bei Erschütterungen und bildet leitende Brücken zwischen den positiven und negativen Elektroden. Dann entlädt sich der Akkumulator außer Betrieb.

Nicht minder gefährlich ist eine zu große Stromstärke bei

Ladung und Entladung. Jedes zu hohe Ansteigen des Stromes bringt einen stürmischen Verlauf der chemischen Reaktion mit sich oder mit andern Worten, der Akkumulator verträgt pro Quadratzentimeter Elektrodenfläche nur eine bestimmte Stromstärke (Stromdichte). Bei Überschreitung lockert sich das Gefüge der Platten. Es fällt Bleimasse heraus, die Platten verbiegen sich, bilden unter sich Verbindungen.

Ebenso ist aber auch eine zu geringe Benutzung des Akkumulators für seine Lebensdauer nachteilig. Ein Akkumulator, der in geladenem Zustand oft sehr lange Zeit hindurch unbenutzt steht, verliert auch an seiner Kapazität. Darum ist es auch fehlerhaft, die Zellengröße im Verhältnis zum Röntgenapparat zu reichlich zu bemessen. Man berechnet zweckmäßig aus der durchschnittlich täglichen Benutzungsdauer des Apparates mit einer mittleren, vom Ampèremeter des Instrumentariums abzulesenden Stromstärke die Kapazität so, daß die Batterie ungefähr alle 4—6 Wochen einmal entladen wird.

Entladen ist die Batterie, wenn unmittelbar nach ihrer Benutzung — nicht etwa, wenn sie längere Zeit ruhig gestanden hat — die Spannung jeder Zelle auf etwa 1,8 Volt gesunken ist. Dann muß sofort und ohne Verzug wiederum geladen werden und zwar unter strenger Beobachtung der Ladungsvorschriften, insbesondere der Ladestromstärke und unter Beobachtung der Polarität. Die verdampfende oder vergasende Flüssigkeitsmenge wird durch Ergänzen mit verdünnter Schwefelsäure oder mit destilliertem Wasser nachgefüllt, so daß die mittlere Säuredichte sich auf ungefähr 21° Bé = 1,17 spez. Gew. erhält.

Die Zellenzahl der Batterie richtet sich natürlich nach dem Gebrauchszweck. Entsprechend der Zellenzahl muß die Spannung des Ladestroms groß genug sein, um die entgegengesetzte Spannung der Batterie zu überwinden, sodaß der Ladestrom wirklich zustande kommt.

Die Ladung geschieht zumeist in irgend einer elektrischen Gleichstrom-Zentrale. Dort wird unter Vorschaltung eines entsprechenden Regulierwiderstandes (siehe in diesem Teil unter Widerständen) die Ladestromstärke abgeglichen und die Ladung so lange fortgesetzt, bis in den Zellen heftige Gasentwicklung auftritt.

Wird jemals zu irgend einem Zwecke die Batterie von der Säure entleert, so muß sofort mit destilliertem Wasser nachgespült werden, weil sonst die Platten bei Luftzutritt zerstört werden, „verbrennen“, wie die Elektrotechniker sagen.

Wo die Ladung seitens des Elektrizitäts-Werks nicht möglich

ist oder zu große Schwierigkeiten bereiten würden, hat man zu anderen Auswegen seine Zuflucht genommen.

Die Ladung durch Thermosäulen ist nicht angeraten für den Röntgenbetrieb. Sie ist teuer, macht eine Parallelschaltung der Zellen notwendig, die für die Batterie äußerst nachteilig sein kann.

Die Ladung durch eine kleine Gas-Dynamo ist teuer, aber nicht ungeschickt, wenn die Maschine gut ist. Viel zweckmäßiger aber wählt man dann die Gas-Dynamo so groß, daß man den Röntgen-Apparat und vielleicht andere elektrische Geräte (Licht, elektromed. Apparate) ebenfalls anschließen kann.

Ein in vielen Fällen zweckmäßiges Auskunftsmittel ist die Ladung mit Hilfe einer Wasserturbine*). Sie bewährt sich überall da, wo bei billigem Wasserpreise Leitungswasser von genügendem Druck — mindestens 4 Atmosphären — vorhanden ist. Das Wasser treibt eine Turbine an, die ihrerseits eine kleine Dynamo-Maschine in Tätigkeit setzt. Das abfließende Wasser bleibt ganz rein und kann für andere Zweke noch benutzt werden. Die Ladung kann bei gut ausgeführter Anlage ziemlich ohne Aufsicht, selbst bei Nacht, ausgeführt werden.

B.

Das Induktorium.

Die zur Verfügung stehenden Stromarten erfüllen den von uns ins Auge gefaßten Zweck nicht, eignen sich nicht zur Einleitung in die Röntgenröhre. Erst durch Transformation im Sinne der Induktion läßt sich die zur Strahlenerzeugung unerläßliche bestimmte Art von Elektrizität gewinnen, eine Art, die charakterisiert ist durch die drei Forderungen (32): Genügend hohe Spannung, reichliche Intensität, Impulse möglichst gleicher Richtung. 71. Vorgänge im Induktor.

Der allgemeine Gang dieser Transformation mit dem erwähnten Ziel, Ströme besonderer Art zu gewinnen, ist der folgende: Der Strom, der primär (siehe dieses Kapitel A) zur Verfügung steht — zunächst sei ein Gleichstrom angenommen — wird der Primärspule eines Induktoriums zugeleitet, wo er (41 ff.) ein Kraftfeld erzeugt. Dieses ausstrahlende Kraftfeld durchsetzt wohl auch die Windungen der sekundären Spule. Solange es jedoch in gleicher Stärke be-

*) Vergl. die Arbeit des Verfassers, Münchener medizinische Wochenschrift Jahrg. 1904 Heft 8 über elektr. med. Stromquellen. Desgleichen „gesammelte Aufsätze“, Stubers Verlag, Würzburg, Kapitel IV. Vergl. auch das mehrfach zitierte Handbuch.

stehen bleibt, ist eine Induktion unmöglich, denn diese beruht ja, wie wir (48) sahen, auf Änderung. Um diese notwendige Änderung eines Kraftfeldes zu gewinnen, wird in die Stromzuleitung zum Primärkreise ein besonderer Apparat eingeschaltet: der Unterbrecher.

Das ist zunächst nichts anderes, als ein herausnehmbares Stück des Stromweges, ein beweglicher Teil darin. Bei seiner Entfernung besteht kein Stromweg mehr, der Strom wird — mangels leitender Verbindung zwischen den Polen (siehe 6a und b) gleich Null, um wieder in alter Stärke zu fließen, sobald der Weg wieder hergestellt ist. Dieses Schließen und Öffnen, dieses Einschalten und Unterbrechen des Stromes besorgt der Unterbrecher rhythmisch.

Im Induktor resultiert daraus ein eben so rhythmisches Auf- und Abfluten der Kraftlinien. Sie strahlen aus, sie stürzen zusammen, um beim nächsten Stromschlusse wieder auszustrahlen. Dabei schneiden sie die sekundäre Spule, die wie (51, 57.) dargelegt, eine sehr große Windungszahl hat, und es entstehen in ihr Induktionsstöße in verschiedener Richtung. Beim Ansteigen der Kraftlinien der eine, beim Zusammensturz der andere, dem ersten entgegengesetzt verlaufende.

Der erste derartige Impuls in der Sekundärspule, der dem primären Stromschluß und dem Kraftfeldanstieg enstpricht, heißt die Schließungsinduktion, der andere, der bei primärer Stromöffnung, beim Zusammenfall der Kraftlinien entsteht, heißt Öffnungsinduktion.

Indessen vollziehen sich diese Vorgänge nicht ganz so einfach. Sie werden etwas kompliziert durch die gleichzeitig auftretende Wirkung in der Primärspule selbst, die Selbstinduktion, die Extraströme (vergl. 55).

72. Fortsetzung. Selbstinduktion. Stromschlußkurve. Die Selbstinduktion in der primären Spule, die der Kraftlinien-Änderung entgegenwirkt und sich als ein Widerstand geltend macht, verhindert, daß der Strom sofort bei Stromschluß zu der durch das Ohmsche Gesetz gegebenen Stärke anwächst. Jedem Anwachsen des Primärstromes entspricht beim Stromschluß ein Anwachsen der Spannung des Selbstinduktionsstromes. Hieraus, sowie aus der Trägheit des Eisens, das erst allmählich magnetisiert wird, entspringt ein allmähliches Anwachsen des magnetischen Feldes.

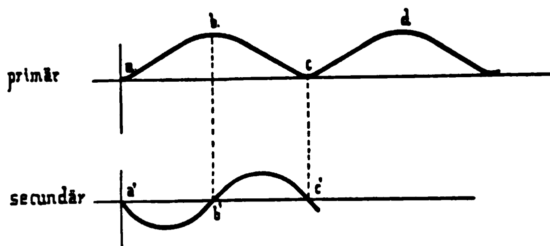
Der primäre Selbstinduktionsstrom (d. h. seine Spannung) hängt ab von der Windungszahl der induzierten (d. ist hier die primäre) Spule, vom Selbstinduktionskoeffizient (56) und der primären Stromstärke. Die Stromschluß-Anstiegkurve des magnetischen Feldes wird also um so flacher, je größer der Selbstinduktionskoeffizient ist.

Ist der Primärstrom und das Kraftfeld zu seinem maximalen Werte gewachsen, so erfolgt eine möglichst schnelle Öffnung des Stromes durch den Unterbrecher. 73. Fortsetz. Öffnungs-extrastrom. Öffnungs-kurve.

Der Primärstrom sinkt auf Null, das Eisen wird entmagnetisiert, das Kraftfeld nimmt ab. Die Kraftlinien fallen zusammen. Diese rapide Änderung im Kraftfeld erzeugt einen ihr entgegen arbeitenden Selbstinduktionsstrom von großer Spannung — denn diese Spannung hängt ja von der Geschwindigkeit der Kraftfeldänderung ab. Der Öffnungs-Selbstinduktionsstrom (oder Öffnungs-Extrastrom oder primäre Öffnungsstrom) wirkt der Abnahme des Kraftfeldes der Entmagnetisierung entgegen, er sucht die Magnetisierung fortzusetzen, er hat also die gleiche Richtung, wie der Primärstrom sie hatte.

Ähnlich, wie beim Stromschluß ein verzögerter Anstieg des Kraftfeldes, entsteht bei der Unterbrechung ein verzögerter Abfall. Jeder dieser beiden Änderungen entspricht dann in der Sekundärspule ein Stromstoß.

Es verlaufen nach dieser Überlegung die primären und sekundären Vorgänge, wie es die beiden nachstehenden Kurven darstellen (vergl. auch 1. Teil C. 52).



Figur 28.

In der Sekundärspule soll aber nach Forderung 3 (32) kein Wechselstrom fließen, weil er zur Erzeugung der X-Strahlung nach (25) wenig geeignet ist. Es muß demnach der primäre Kraftfeldverlauf so geändert werden, daß die sekundären Induktionsstöße möglichst ungleich werden, der eine möglicht gering, der andere möglichst energisch, dann nimmt die sekundäre Stromform immer mehr den Charakter eines pulsierenden Gleichstromes an. 74. Änderung der sekundären Stromform.

Die sekundären Impulse hängen (50) von dem Maße ihrer Ursache, der primären Kraftfeldänderung ab. Je rapider diese Änderung ist, desto größer wird die durch sie hervorgebrachte Induktion. Diesem Gedankengange folgend, sucht man den Anstieg

des Feldes beim Stromschluß möglichst langsam und damit die sekundäre Schließungsinduktion möglichst schwach, den Absturz des Feldes bei der Unterbrechung aber möglichst rapid zu machen, und damit die sekundäre Öffnungsinduktion sehr stark.

Der benutzte Weg ist die Unterdrückung der Selbstinduktion im Augenblicke der Unterbrechung. Wenn in diesem Momente die Selbstinduktion nicht wirkt und also das Kraftfeld nicht aufrecht erhält, so stürzt es sehr rasch zusammen.

Diesem Zweck können verschiedene Mittel dienen. Ausblasen des an der Unterbrechungsstelle auftretenden Fünkchens, das als Stromweg für den Extrastrom dient, ist eines derselben. In Deutschland fast ausschließlich angewendet ist aber ein anderes: der Kondensator.

Über die Anordnung und die Wirkung des Kondensators siehe (I. A 4, 5).

Seine Beläge werden an die sich entfernenden Teile des beweglichen, herausnehmbaren Leitungswegstückes (Unterbrecher) angelegt. Dann saugt er gewissermaßen die hier auftretende Selbstinduktionsspannung auf.

Infolge seiner Tätigkeit gestalten sich die Änderungen im primären Felde ungleich.

Bei der Stromschließung ist der Anstieg der Feldstärke langsam — um so langsamer, je größer der Schließungsextrastrom ist. Die Spannung des Schließungsinduktionsstromes in der Sekundärspule ist daher nicht groß — sie wächst mit der sekundären Windungszahl.

Der Anstieg der Kurve (die Schnelligkeit der Zunahme der Kraftlinien) ist um so mäßiger, je mehr das Anwachsen des Primärstromes durch den Schließungsextrastrom aufgehalten wird. Im selben Maße nimmt die sekundäre Schließungsinduktion ab.

Um deren Spannung also zu verringern, können wir:

1) die sekundäre Windungszahl kleiner machen,
2) die primäre Stromstärke reduzieren, und zwar entweder durch Erhöhung des Widerstandes oder durch Verringerung der Betriebsspannung,
3) die Eisenmenge (in gewissen Grenzen) verkleinern,
4) die primäre Windungszahl vergrößern.

Bei der Unterbrechung ist der Abfall des magnetischen Feldes rapid, um so rapider, je weniger der Extrastrom bei der Unterbrechung den Primärstrom fortzusetzen sucht, je geringer der Extrastrom ist, oder je mehr man ihn beseitigt.

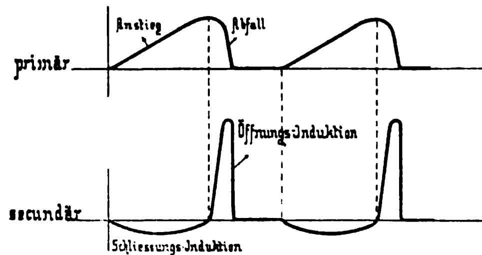
Die Spannung des sekundären Öffnungsstromes ist demgemäß

um so höher, je größer die sekundäre Windungszahl ist, und je besser der primäre Öffnungsextrastrom unterdrückt ist.

Die Kurve des sekundären Stromes besteht demnach aus zwei sehr ungleichen, einander entgegengerichteten Teilen.

Beim Stromschlusse wächst die magnetische Feldstärke langsam an und erzeugt durch Induktion einen sekundären Strom, der in seinem Verlaufe (s. 52) dem primären Strom entgegengesetzt gerichtet ist, einen Strom von geringer Spannung (siehe Fig. 29).

Wenn das Kraftfeld zu einer gewissen Stärke angewachsen ist, so erfolgt die Unterbrechung des Primärstromes und, wenn für eine Beseitigung des Öffnungsextrastromes gesorgt ist, eine rapide



Figur 29.

Abnahme des Kraftfeldes, die eine intensive Induktionswirkung (siehe Fig. 29) in der Sekundärspule erzeugt.

An den Sekundärklemmen des Induktoriums entsteht in diesem Augenblick eine sehr große Potentialdifferenz, die viele tausend Volt besitzt. Diese Spannung ist so groß, daß sie eine Luftstrecke von mehreren Zentimetern überwindet und trotz dem hohen Widerstande der Röntgenröhre ihr Strom zuführt.

Der Ausgleich dieser hohen Spannung erfolgt in Form eines rasch verlaufenden Stromstoßes, einer sogenannten Entladung.

Bei der Entladung fällt die induzierte Spannung rasch auf 0, und der nächste primäre Stromschluß bringt eine Induktion entgegengesetzter Richtung hervor.

75. Verwendbarkeit des untersuchten Induktionsstromes für die Erzeugung von X-Strahlen.

Die Röntgenröhre braucht rasch aufeinander folgende Stromimpulse e i n e r Richtung.

Von der Intensität und Frequenz der Impulse hängt die Menge der erzeugten X-Strahlen ab. Die oben betrachteten Induktionsströme s i n d z u r E r z e u g u n g v o n X - S t r a h l e n g e e i g n e t, w e i l d i e U n t e r b r e c h u n g s i n d u k t i o n d i e S c h l i e ß u n g s i n d u k t i o n w e i t ü b e r w i e g t, u n d s i e s i n d u m s o g e e i g n e t e r, j e w e i t e r g e h e n d d i e s e s Ü b e r w i e g e n i s t.

76. Mängel der Kurve dieses Stromes und Annäherung an die ideale Kurve. 3 Forderungen für die Röntgenapparate.

Eine Idealkurve ist die Kurve des Sekundärstromes nicht, da zwischen je zwei starken Stromstößen in einer Richtung, die wir für die Erzeugung der X-Strahlen verwenden können, ein allerdings schwächerer Induktionsstoß in umgekehrter Richtung liegt (die Schließungs-Induktion).

Der Strom eines Induktors ist für die Bildung von Röntgenstrahlen um so geeigneter, je mehr die Spannung der Öffnungsinduktion die Spannung der Schließungsinduktion überwiegt, je größer die Differenz dieser Spannungen ist.

Unter Berücksichtigung unserer Kenntnis der Stromform, die das Induktorium der Röntgenröhre zuführt, können wir unsere drei Forderungen (32) wie folgt formulieren.

1. Der Sekundärstrom besitze genügende Spannung zur Überwindung des Widerstandes der Röhre.

2. Seine Intensität und die Anzahl seiner Entladungen (Frequenz) seien möglichst groß.

3. Die Öffnungsinduktion überrage möglichst die Schließungsinduktion.

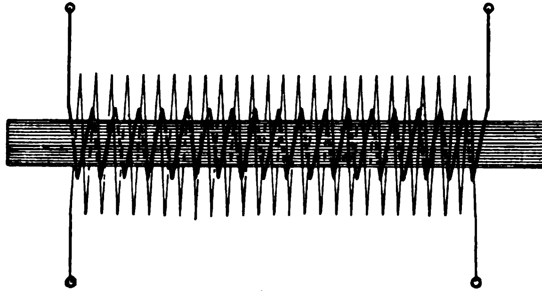
77. Weitere Forderungen für den Sekundärstrom.

Zu diesen 3 theoretischen Bedingungen, die für die Kenntnis und Beurteilung der Apparate unerläßlich sind, treten noch eine große Reihe anderer technischer Faktoren, die den Wert eines Instrumentariums mitbestimmen. Zur sekundären Induktionswirkung tragen nur diejenigen Kraftlinien bei, die auf sekundäre Leiterteile treffen. Andere Kraftlinien verlaufen, von den Polen insbesondere, in der Luft und sind für die Induktion verloren. Diesen Verlust durch zerstreut verlaufende Kraftlinien nennt die Technik Streuungsverlust.

Dieser Streuungsverlust ist bei Induktoren mit geraden Eisenkernen immerhin nicht unbeträchtlich. Er wird kleiner, wenn die Eisenmasse der primären Spule recht kompakt gebaut ist, also besonders bei der von Boas benutzten Art des Baues aus papierüberzogenen Dynamoblechen (60), bei denen kein Luftraum im Innern des Eisenkernes mehr liegt.

Die Leistung eines solchen Transformators muß man beurteilen nach der Größe der einigermaßen rationell umgeformten elektrischen Stromarbeit. Die Größe der Spannung an den sekundären Klemmen läßt sich nach der Größe des Widerstandes bemessen, durch den hin die Spannung sich ausgleicht. Ist der Weg eine Luftstrecke, so ist der Widerstand der Luftstrecke von ihrer Länge abhängig. Man kann demnach die Spannung annähernd durch die Luftstrecke taxieren. Die maximale Luftstrecke, durch welche hin bei Erzeugung eines möglichst rapiden Abfalles (stärkstes Feld, große „Belastung“ des Induktors) die Öffnungsinduktion sich ausgleicht, nennt man die Schlagweite des Induktors (oder seine Funkenlänge) und hat damit ein angenähertes Maß für die maximale mit einem Apparate erreichbare Sekundärspannung. Für die Größe der Leistung eines Induktors sagt natürlich die „Funkenlänge“ ebensowenig aus, wie die Angabe der Länge einer Seite über den Flächeninhalt eines Rechteckes. Es müßte noch hinzu-

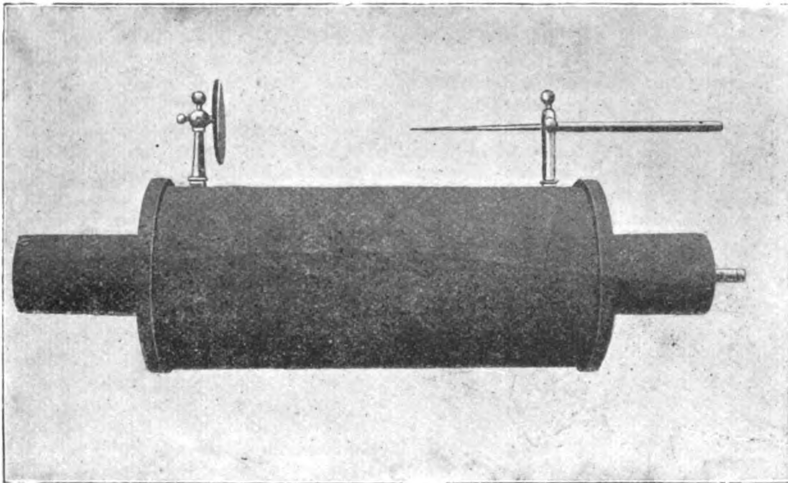
treten die Angabe über die Intensität der Entladung und über ihre Frequenz. Um über die Brauchbarkeit eines Instrumentes mit bekannter Funkenlänge überdies noch etwas auszusagen, müßte man außer all' dem noch über die Spannung (Schlagweite) der Schließungsinduktions-Entladung orientiert sein, denn auf die Differenz zwischen beiden kommt es an. Andere wichtige technische Momente



Figur 30.

sind die Arten der Isolierungen und die Dimensionierungen der primären und sekundären Drähte und des Eisenkerns.

Eine eingehendere Beschreibung des Baues der Induktoren



Figur 31.

findet sich im Kompendium der Röntgenographie (praktisches Handbuch von Dessauer und Wiesner, 1906, Otto Nemnich, Leipzig pag. 45—72).

Auf Grund der reichen in der Wechselstromtransformatoren-

technik gewonnenen Erfahrung hat hauptsächlich Boas auf diesem Gebiet erfolgreich gearbeitet. Die Dielektrizitätskonstante des Isoliermaterials der Sekundärspule, ihre Einbettung in eine ganz luftfreie Isolations-Hülle, ihre Unterteilung, die Entfernung der Spulen (mit Rücksicht auf die Streuung) sind einige von den konstruktiv wichtigen Bestimmungsstücken.

Der magnetischen Trägheit (Hysteresis) des Eisens wegen darf die Masse desselben nicht zu groß, wegen Erreichung eines genügend starken Feldes nicht zu klein sein. Die Sättigung und die Wirbelstrombildung kommen in Frage.

Außerordentlich kompliziert werden die Induktionsvorgänge noch dadurch, daß ein sekundärer Induktionsstrom, sobald er zu stande kommt, ein magnetisches Feld von rasch sich ändernder Stärke hervorbringt und der Sekundärspule selbst wie auch besonders der primären Spule Ströme induziert.

Diese Verhältnisse können hier aber keine Berücksichtigung finden.

Eine nicht unwesentliche Frage bei der Konstruktion des Induktoriums ist die Wahl der sekundären Funkenlänge.

78. Die Frage der Funkenlänge.

Die Frage der Funkenlänge des Induktoriums, das heißt, der maximalen Spannung der Öffnungsinduktion ist vor etwa sieben Jahren vom Verfasser aus gewichtigen Gründen angeschnitten worden. In der damaligen Zeit tendierte die Entwicklung der Röntgentechnik, die noch fast ganz in den Händen der Mechaniker lag, stark zur einseitigen Vergrößerung der Funkenlänge durch Vermehrung der sekundären Windungszahl.

Bei der Bestrebung, das Röntgeninstrumentarium zu einer technischen Maschine auszubauen und zu vereinfachen — eine Strömung, die nachher den Namen der Aschaffenburger Richtung erhalten hat —, mußte auch auf diese Einseitigkeit aufmerksam gemacht werden. Es entstand darüber eine lebhafte Diskussion in verschiedenen Zeitschriften, die selbst in den letzten Jahren noch Nachklänge hervorbrachte, obgleich die Frage längst durch die Erfahrung und durch Berechnung gelöst ist. Eine kurze historische Darstellung des Streites findet sich in dem Handbuch: Kompendium der Röntgenographie von Ing. Dessauer und Dr. B. Wiesner (Otto Nemnich, Leipzig) Kapitel I. In dem gleichen Werke ist auch im technischen Teil die Frage der Funkenlänge eingehend behandelt. Eine ebenfalls eingehendere Behandlung findet sich im 1. Bande der gesammelten Aufsätze des Verfassers — die unter dem Namen Röntgenologisches Hilfsbuch bei A. Stuber in Würzburg erschienen sind. Dortselbst auch Verzeichnis der einschlägigen Literatur. Eine sehr klärende und zutreffende Abhandlung über die Frage findet sich auch von Hans Boas im 2. Hefte des 2. Bandes des Archivs für physikalische Medizin und medizinische Technik (Verlag Otto Nemnich, Leipzig).

Der Stand der Frage ist zur Zeit der folgende: Ein Induktorium ist umso besser, je mehr es den 3 oben (76) angeführten Anforderungen entspricht. Durch ein Überschreiten einer maximalen Schlagweite von 30—40 cm wird nichts gebessert. Eine Erhöhung der Schlagweite über etwa 25—30 cm ist jedenfalls nicht notwendig.

Unvergleichlich wichtiger ist die reichliche Dimensionierung des primären Eisenkerns und des primären und sekundären Kupfergewichtes. Das Induktorium soll vielmehr mit Rücksicht auf Erzielung einer großen sekundären Intensität bei jedem einzelnen Entladungsstoß gebaut werden, als mit Rücksicht auf eine große sekundäre Funkenlänge, die im günstigsten Falle nichts nutzt. Reduziert man die Funkenlänge unter das Maß, welches nötig ist, den Widerstand der am höchsten evakuierten Röntgenröhre, die noch anwendbar ist, zu überwinden, so ist man deswegen doch noch im Stande, alle, auch die schwierigsten Aufnahmen zu machen. Funkenlänge und Bildqualität haben jedenfalls an sich keinerlei Zusammenhang.

Mit wachsender Eisen- und Kupfermenge des Induktoriums nimmt übrigens die Frequenz (76) ab. Man verliert also in dieser Beziehung annähernd so viel, als man an Wucht des einzelnen Induktionsstoßes gewinnt.

Dem Optimum im Induktor für den praktischen medizinischen Betrieb nähert sich eine Größe, deren Schlagweite zwischen 25 und 40 liegen mag, die aber im übrigen eine möglichst robuste Dimensionierung der primären und sekundären Spule und des Eisenkernes besitzt.

79. Die Notwendigkeit der Reduzierung der Schließungsspannung.

Da mit wachsender sekundärer Windungszahl auch die Spannung der schädlichen Schließungsinduktion wächst, wurde mit Einführung des elektrolytischen Unterbrechers (siehe 85), bei dessen Anwendung der primäre Feldanstieg besonders rapid ist, das Induktorium mit großer Funkenlänge ganz unmöglich, denn bei Betrieb mit großer Funkenlänge und mit Wehnelt-Unterbrechern war der Verschleiß der Röhren sehr groß. Um die Funkenlänge bei großer sekundärer Windungszahl zu reduzieren, wurde die primäre Windungsanzahl zuerst von Boas vergrößert mit dem Zweck, durch den erhöhten Selbst-Induktions-Koeffizienten den Stromanstieg zu verlangsamen (gleichzeitig natürlich auch den Feldabfall bei der Unterbrechung) und so Schließungs- und Öffnungsinduktion zu verringern. Da diese Überlegung vielleicht etwas Schwierigkeiten bereitet, sei noch ein anderer Weg zum Verständnis der Methode angegeben: Das Induktorium ist ein Transformator zur Verwandlung niedrig gespannter Ströme in hochgespannte. Die in der Sekundärspule auftretende maximale Spannung ist sovielmal höher als die in der Primärspule auftretende maximale Spannung, als die sekundäre Spule mehr Windungen enthält als die primäre. Angenommen, die sekundäre Spule habe 400 Mal mehr Windungen als die primäre, dann ist die maximale Sekundärspannung 400mal größer als die maximale Primärspannung.

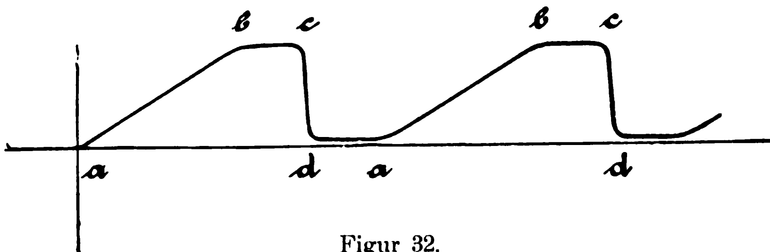
Walterschaltung. Man kann nun, um die sekundäre Spannung kleiner zu machen, zwei Wege beschreiten: Entweder die sekundäre Windungszahl vermindern oder die primäre vermehren. Beides führt zur gleichen Beeinflussung des Übersetzungsverhältnisses. Der erste Weg wurde vom Verfasser beschritten, der zweite, die Vermehrung der primären Windungsanzahl ist, nicht ganz mit Recht, unter dem Namen Walter-Schaltung bekannt geworden.

Beide Wege führen zur Verringerung der sekundären Funkenlänge und der Schießungs-Induktionsspannung. Nur ist der zweite wesentlich komplizierter und teurer als der erste.

Im übrigen hängt die Frage der Konstruktion des Induktoriums zu eng mit den Betriebsverhältnissen des Einzelfalls — Stromquelle, Unterbrecherart — zusammen, als daß sie getrennt davon besprochen werden könnte. Es läßt sich vom Induktorium an sich nur folgendes sagen: Die Induktionsstöße sollen möglichst stark sein, die Schlagweite soll nicht zu groß sein, oder wenn sie es ist, so müssen Hilfsmittel zu ihrer Reduzierung vorhanden sein (vermehrte primäre Windungszahl — Walter-Schaltung). Die Isolation muß vorzüglich sein, sodaß der Apparat dauernd eine hohe Beanspruchung und auf kurze Zeit eine Überbelastung verträgt. (Hiezu vergl. die Ausführungen 95, 96 ff.)

C.
Die Unterbrecher.

80. Die Phasen der Unterbrechertätigkeit. Die Vorgänge in der Primärspule des Induktoriums, die im vorausgegangenen Abschnitt (Induktorium) bereits dargelegt wurden, haben das rhythmische Einfügen und Herausnehmen eines beweglichen Leiterelementes zur Voraussetzung. Das hierzu dienende Organ, der Stromunterbrecher, ist in mannigfaltiger Form ausge-



Figur 32.

bildet worden. Doch läßt sich einheitlich sein Arbeiten durch vorstehendes Schema (Fig. 32) des primären Verlaufs darstellen: Der Teil a b, der Stromanstieg, hängt von der Kontaktdauer ab. Er

kann von einem Teile b c, dem Andauern der maximalen Primärstromstärke gefolgt sein, bis bei Punkt c die Unterbrechung einsetzt und der Zusammensturz des primären Stromes und des Kraftfeldes in der Phase c d eintritt. Nachdem das Feld verschwunden ist, womit sekundär der gewünschte Effekt, die Öffnungsinduktion, eintrat, folgt die stromlose Phase d a, welche die Zeit bedeutet, die bis zum Beginn des nächsten Stromschlusses verläuft.

Zur Kritik der einzelnen, im nachfolgenden zu beschreibenden Unterbrechergattungen dienen allgemein giltig folgende Überlegungen:

Die Phase a b steige möglichst sanft an. Wird diese Forderung erfüllt, dann erfolgt beim Stromschluß die Kraftfeldänderung sanft, die Spannung der Schließungsinduktion der Sekundärspule ist gering (c. f. Forderung 3. 76). In dieser Beziehung überragt der Platinunterbrecher alle andern Gattungen, der Quecksilberunterbrecher ist weniger günstig und der elektrolytische endlich hat den schroffsten Anstieg und damit den stärksten schädlichen Impuls in der sekundären Spule.

Die Phase b c trägt zur Induktion nichts bei, ist also überflüssig. Mit andern Worten: die Unterbrechung soll sofort eintreten, wenn die Magnetisierung auf das Maximum gestiegen ist. Es soll also Punkt b mit c zusammenfallen, damit die Frequenz durch unnötige Verschleppung des ganzen Vorganges nicht leide. Andererseits soll die Unterbrechung auch nicht eher einsetzen, als die Magnetisierung zum Maximum gediehen ist, Punkt c nicht vor Punkt b fallen, weil sonst die Unterbrechung vor Erreichung des Feldmaximums eine zu geringe Sekundärwirkung hervorbringt.

Bei Platinunterbrechern, aber auch bei Quecksilberunterbrechern kommt dieses Vorfallen des Punktes c vor b, also des Unterbrechungsmomentes vor dem Kulminationspunkt der Magnetisierung häufig vor, ja bei der Regulierung (siehe 93) wird es beabsichtigt herbeigeführt. Ebenso kommt aber auch bei mehreren Arten von Quecksilberunterbrechern, bei denen die Kontaktdauer unabhängig vom Induktorium ist, eine lange Phase b c vor. Es sind das diejenigen Arten, die durch Motore einen selbständigen Antrieb und eine vom Induktorium unabhängige Bestimmung der Kontaktdauer durch diesen Antrieb erhalten.

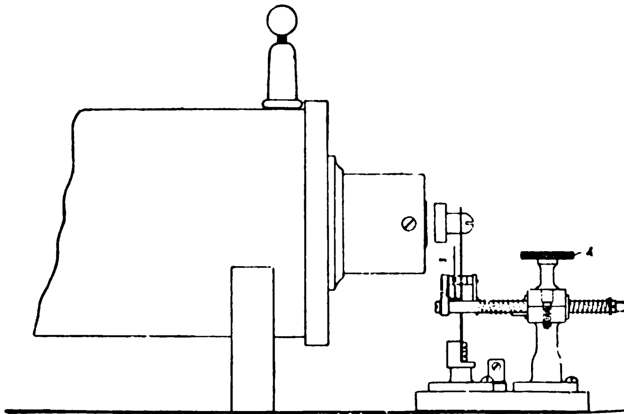
Der Absturz c d, mit dem ja eigentlich gearbeitet werden soll, sei möglichst rapid. Am günstigsten verhält sich in dieser Beziehung der Quecksilberunterbrecher, hinreichende Kapazität des Kondensators vorausgesetzt. Er gibt also, ceteris paribus, die größte sekundäre Funkenlänge. Weniger günstig ist der Platin-

unterbrecher, am ungünstigsten in Bezug auf diesen Punkt der elektrolytische.

Die Strecke d a, die stromlose Phase, soll kurz sein, da ja in Bezug auf die Induktion während ihrer Dauer nichts geschieht (keine Feldänderung). Sie ist bei den gewöhnlichen alten Platinunterbrechern meist sehr lang, ebenso bei alten Quecksilber-Hammerunterbrechern. Da ihre Dauer bei diesen beiden Gattungen oft das Mehrfache sämtlicher andren Phasen übertrifft, leidet die Frequenz sehr stark.

81. Der Platinunterbrecher. Das Prinzip der ursprünglichen alten Form des Platinunterbrechers (Wagner'scher, auch Neef'scher Hammer genannt) ist bekannt. Die Magnetisierung des primären Eisenkerns wird zum Losreißen eines beweglichen Kontaktes durch einen beweglichen Eisenanker benutzt.

Der Platinunterbrecher gibt, wie erwähnt, einen sehr langsamen (vorteilhaften) Anstieg ab, unterbricht auch ziemlich rasch bei Erreichung eines entsprechenden Feldes, wenn seine Federlänge und Stärke, sein Ankergewicht vom Konstrukteur zur Feldstärke gut abgeglichen ist. Er gibt sodann einen rapiden Abfall c d, braucht aber sehr lange Zeit bis zum neuen Stromschluß.



Figur 33.

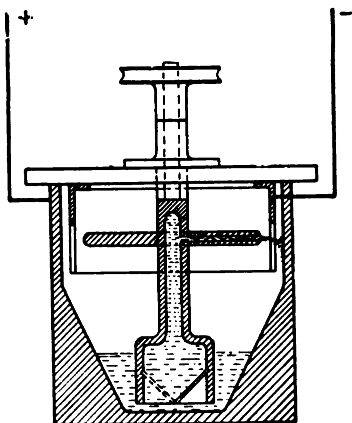
Diesem letzten, seiner Frequenz Eintrag tuenden Umstand wird durch den Platinschnellunterbrecher von Dessauer dadurch Abhilfe geschaffen, daß, wie die Figur 33 zeigt, beim Vorschwingen ein zweiter Stromschluß erfolgt. Der Anker kehrt trotzdem in die Ruhelage zurück. (Näheres siehe Kompendium der Röntgenographie Seite 74 ff.)

Die alte Form der Quecksilberunterbrecher, die genau wie der einfache Platinunterbrecher arbeitete, mit dem einzigen Unterschied, daß die Platinkontakte durch einen in Quecksilber ein- und austauchenden Metallstift ersetzt waren, ist viel zu schwerfällig, als daß sie der Frequenzforderung einigermaßen gerecht werden könnte. Die Strecke d a und meist auch die Strecke b c ist sehr lang. 82. Die Quecksilberunterbrecher.

Man ging deshalb bald dazu über, sie durch Motorunterbrecher zu ersetzen.

Ein Elektromotor treibt durch ein Gleitgestänge einen Stift an, der in einem Quecksilberniveau ein- und austaucht. Durch Regulierung der Tourenzahl des Motors und durch Regulierung der Eintauchtiefe ließ sich Frequenz und Kontaktdauer (a—c) ziemlich weitgehend regulieren. Aber auch diese Unterbrechergattung hat, wie die einfachen Quecksilbertauchkontakt-Unterbrecher, nur historisches Interesse. Beim raschen Ein- und Austauchen gerät das Quecksilberniveau in hüpfende, wippende Bewegung. Dadurch wird Kontaktdauer und Unterbrechung unzuverlässig und weil diese Unzuverlässigkeit den ganzen Betrieb in Frage stellt, kann die Unterbrechungszahl kaum über 20 in der Sekunde gesteigert werden.

Boas war der Erste, der die prinzipielle Minderwertigkeit aller dieser auf dem Prinzip der Oszillation beruhenden Konstruktionen erkannte und einen Unterbrecher auf reinem Rotationsprinzip aufbaute. Sein Turbinenunterbrecher wurde denn auch Grundlage und 83. Der Boasunterbrecher.



Figur 34.

Ausgangskonstruktion für die mannigfaltigen Formen der Quecksilberrotationsunterbrecher, die nachdem auf den Markt kamen.

(Nähere Angaben über die Geschichte dieser Unterbrecher siehe Kompendium der Röntgenographie Seite 78 ff.)

Das grundlegende Prinzip ist durch die schematische Abbildung (Fig. 34) angedeutet. Eine irgendwie gestaltete Pumpe (ein Schneckenrad oder eine Zentrifuge oder Zahnradpumpe) saugt Quecksilber vom Boden eines Gefäßes durch ein vertikal stehendes Rohr in einem rotierenden Hohlring. Der Hohlring wird von außen durch einen Motor angetrieben, nimmt das Quecksilber mit, das sich vermöge der Zentrifugalkraft innerhalb der Peripherie, gewissermaßen als kreisender Quecksilberkranz anlagert. An einer Stelle hat dieser Hohlring eine Bohrung, aus der bei der Rotation ein feiner Quecksilberstrahl hervorquillt. Er spritzt bei seiner Rotation bald gegen ringsum angeordnete Metallzähne, bald durch Zwischenräume gegen die Gefäßwandung. Alsdann rinnt das Quecksilber zum Gefäßboden zurück.

Der rotierende Teil und die Metallzähne bilden die beiden Kontakte des Unterbrechers. Beim Anspritzen des Strahls gegen einen Zahn ist Kontakt, beim Verlassen des Zahns Unterbrechungsmoment.

Da es nun im Belieben des Konstrukteurs liegt, die Zahl der Metallzähne beliebig zu vergrößern, und er auch die Tourenzahl des Hohlrings variieren kann, so vermag er die Unterbrechungszahl sehr hoch zu steigern. Da ferner der ganze Vorgang in einem hermetisch abgeschlossenen Raum sich abspielt, der ganz mit Wasser, Alkohol oder Petroleum ausgefüllt sein kann, bietet der Unterbrecher auch in dieser Beziehung — also was Zuverlässigkeit, Reinlichkeit und Präzision anbelangt — einen charakteristischen Fortschritt.

Wie erwähnt, fand dieser Unterbrecher viele Nachahmungen, die das eine oder andere Detail modifizierten. Der ganze Vorgang wird natürlich dadurch prinzipiell nicht beeinflußt, daß bei einem kurz darauf gebildeten Modell der Quecksilberstahl feststand und der Kontaktzahnkranz rotierte. Ebensowenig bedeutet die Anordnung von mehreren Quecksilberstrahlen statt des einen, eine charakteristische Verbesserung.

84. Allgemeines über Quecksilberunterbrecher.

Es muß hier einiges Allgemeine über die Eigenschaften der Quecksilberunterbrecher nachgetragen werden.

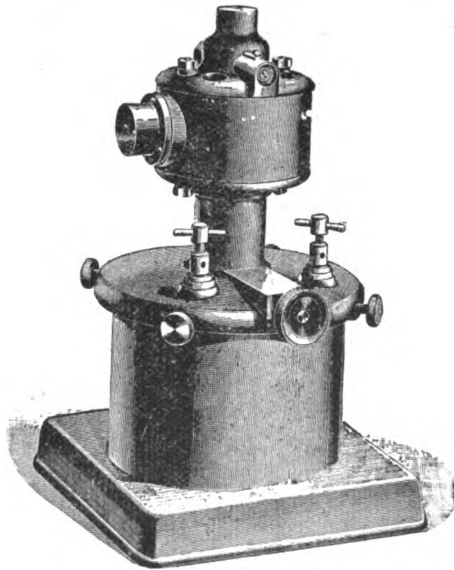
Da bei jedem mechanischen Unterbrecher im ersten Augenblicke der Kontaktentfernung auch trotz des Kondensators ein Stromübergang (Extrastrom) in Form eines kleinen Funkens zwischen den Kontakten stattfindet, so verbrennen die Kontakte leicht in der Luft. Deshalb wird beim Platinunterbrecher gerade Platin oder besser Ptatiniridium verwandt, um das rasche Verbrennen durch die Hitzebeständigkeit des Materials zu bekämpfen.

Quecksilber und die eintauchenden Metallstifte (Silber oder Kupfer) verbrennen sehr stark durch den Öffnungsextrastrom. Deshalb muß das Quecksilberniveau mit einer Flüssigkeit überdeckt werden.

Als Deckflüssigkeit wird manchmal Alkohol (bedenklich wegen der leichten Entzündung), manchmal Wasser, meist Petroleum benutzt. Petroleum hat die unangenehme Neigung, sich durch die mischende Bewegung des Unterbrechers mit dem Quecksilber zu einer Pasta zu vermengen, die weder gut leitend noch völlig isolierend ist und dadurch den Unterbrechungsvorgang sehr unzuverlässig macht.

Das gilt besonders von den rotierenden Quecksilberunterbrechern, deren Tätigkeit eine Mischung von Quecksilber und Deckflüssigkeit stark befördert und die deshalb eine häufige und recht unangenehme Reinigung notwendig machen.

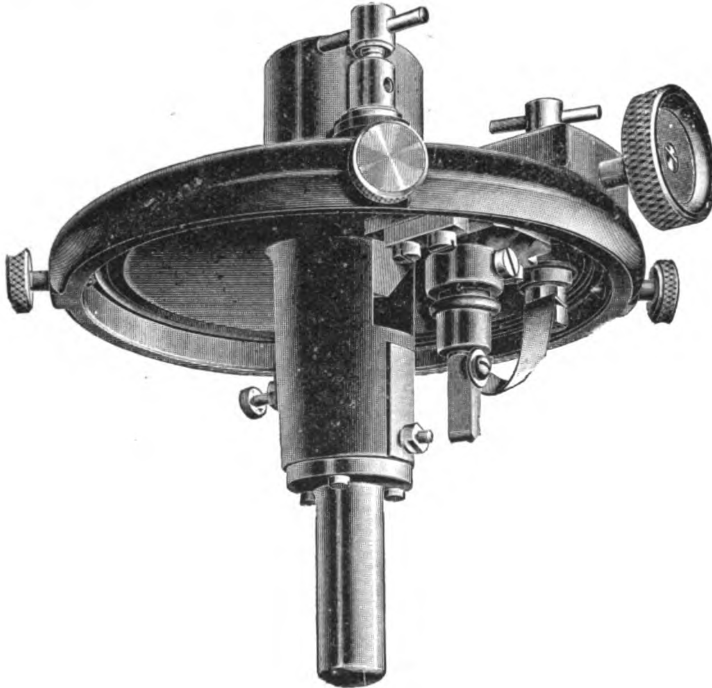
Dem Übelstand hilft die vervollkommnente Form des Boas-Unterbrechers (Fig. 35), zugleich die gegenwärtig vollkommenste



Figur 35.

Form eines mechanischen Unterbrechers, dadurch ab, daß jede Bewegung im Quecksilber und in der Deckflüssigkeit eliminiert wird. Die Figur 36 zeigt den ruhenden, im Innern mit einer Schnecke ausgerüsteten Rohrteil, der das Quecksilber emporsaugt und durch eine ruhende Düse gegen einen ebenfalls ruhenden Kontaktblock spritzt,

um den Stromschluß zu bilden. Zur Herbeiführung der Unterbrechung schneidet ein im Innern des Rohrstutzens rotierendes Messer den Quecksilberstrahl ab, so daß er also intermittierend aus der Düse gegen den Kontaktblock anspritzt.



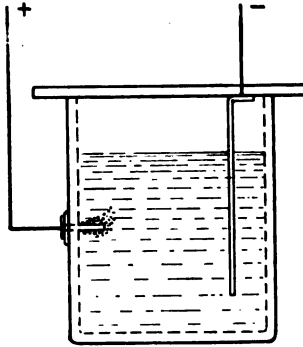
Figur 36.

Diese Unterbrechergattung besitzt unserer Erfahrung nach weitaus die größte Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit von allen Systemen mechanischer Unterbrecher.

85. Der Wehneltunterbrecher. Das Prinzip der von Wehnelt 1900 eingeführten Elektrolytunterbrecher ist das folgende:

Werden (Fig. 37) in einen verdünnten Elektrolyten (zum Beispiel Schwefelsäure und Wasser) zwei Elektroden von sehr verschieden großer Oberfläche (Bleiplatte und feiner Platinstift) eingetaucht und derart mit einer Gleichstromquelle genügender Spannung (60—250 Volt) verbunden, daß der Strom bei der Elektrode mit geringer Oberfläche eintritt (Anode, positiver Pol des Unterbrechers) bei der Metallplatte mit großer Oberfläche austritt (Kathode, negativer Pol des Unterbrechers), so spielt sich folgendes Phänomen ab:

An der Berührungsfläche zwischen Anode und Säure, der Stelle höchsten Widerstandes in der ganzen Strombahn wird der



Figur 37.

Elektrolyt erhitzt und verdampft. Die Wasserdampfblase hüllt die Platinspitze ein und isoliert sie von der Säure.

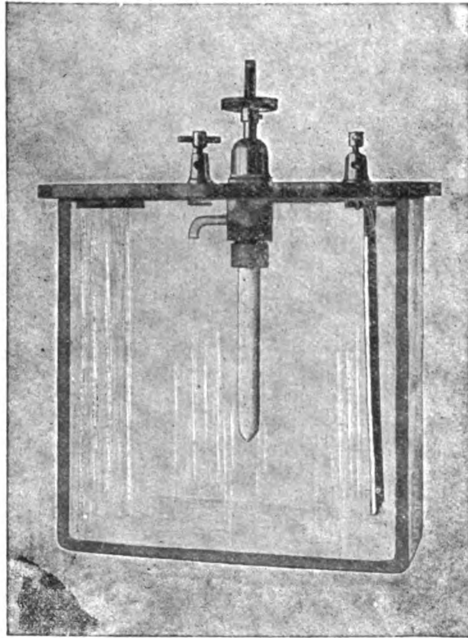
Es ist demnach der Strom, der vorher floß, unterbrochen.

Liegt nun im Stromkreis des Elektrolytunterbrechers ein Leiter mit hohem Selbstinduktionskoëffizienten (siehe 55, 56) also zum Beispiel die Primärspule eines Induktoriums, dann entsteht im Augenblicke dieser Stromunterbrechung ein Feldabfall und damit ein Selbstinduktionsstrom (Extrastrom). Dieser Extrastrom durchschlägt, vermöge seiner hohen Spannung die Gasdampfhülle im Elektrolyt und schleudert sie ab, ein Vorgang der mit einer Leuchterscheinung und einem leicht knallenden Geräusch verbunden ist. Der Elektrolyt tritt wieder zur Anode, der Strom ist geschlossen und steigt an, bis er wieder hinreichend stark geworden ist, um Erwärmung und Dampfbildung und damit neue Unterbrechung zu erzeugen.

Dann wiederholt sich das Spiel von neuem und der ganze Vorgang kann derart rapid verlaufen, dass in der Sekunde bis zu 3000 Stromschlüsse und Unterbrechungen hervorgebracht werden können. Die übliche Frequenzzahl des praktischen Betriebs bleibt zwar wesentlich unter dieser experimentell möglichen Höhe, ist aber immer noch außerordentlich groß.

Die moderne Ausgestaltung des Wehnelt-Unterbrechers benutzt in der Form von Siemens & Halske einen von oben durch ein Porzellanrohr isoliert geführten Platinstift als Anode (Fig. 38). Die Form von Dessauer (Fig. 39) benutzt dicke Platinkolben, die durch ein U-förmig gebogenes Porzellanrohr derart eingeführt werden, daß die Gasblasen ihrem Auftrieb entsprechend frei nach oben aufsteigen.

Die durch den Elektrolytunterbrecher von Wehnelt unterbrochene Stromstärke ist proportional der Berührungsfläche zwischen Anode und Säure. Also, je tiefer die Anode in die Säure hinein-



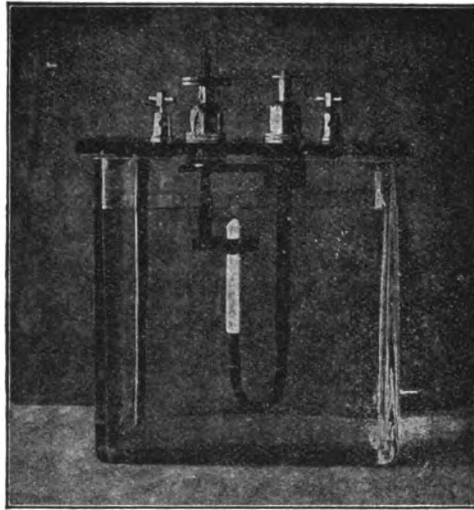
Figur 38.

ragt, desto größer ist die Ampèrezahl des unterbrochenen Stromes. Gleichzeitig nimmt die Unterbrechungs z a h l ab, ist also am größten, wenn die Berührungsstelle am kleinsten ist.

Der Elektrolytunterbrecher ist nicht nur imstande, viel stärkere Ströme, als alle anderen Unterbrecherformen zu unterbrechen, sondern seine Frequenz ist auch außerordentlich viel größer als die aller andern. Einen Nachteil freilich muß man, wie oben erwähnt, mit in den Kauf nehmen, der Anstieg der primären Kurve ist steiler als bei den übrigen Unterbrechern, die Differenz zwischen Öffnungs- und Schließungsinduktionsspannung daher geringer (80). Die Strecke b c (Fig. 32) ist — wenn der Unterbrecher richtig konstruiert und die Berührungsfläche zwischen Stift und Säure nicht zu groß ist — klein, der Abfall rapid und der neue Stromschluß erfolgt äußerst rasch. Hier sind die einzelnen Phasen verkürzt und die aktiven, induzierenden Phasen a b, c d äußerst nahe aneinander gerückt.

Die Frequenzzahlen der Unterbrecher, soweit sie von ihnen abhängig sind, verhalten sich etwa wie folgt:

Gewöhnlicher Platinunterbrecher	30
modifizierter „	60
Quecksilber-Hammer und Motor-Unterbrecher	15
Turbinen und Quecksilberstrahl- „	70
Wehnelt .	500 und
modifizierter Wehnelt etwa	500.



Figur 39.

Die Frequenz hängt, sobald sie eine höhere Stufe erreicht, nicht mehr vom Unterbrecher allein, sondern in hohem Grade vom Induktor ab. Je größer der primäre Selbstinduktionscoëfficient (die magnetische Feldträgheit) ist, desto langsamer ist Anstieg und Abfall. Eine höhere sekundäre Windungszahl erfordert ein starkes Feld (große Eisenmengen) und nach dem Satze von der Äquivalenz der Kupfergewichte (Fig. 58) Vermehrung des primären Leitungsgewichtes. Hierdurch wird der Selbstinduktionscoëfficient gesteigert und die Frequenz nimmt ab. Je größer also die sekundäre Windungszahl, die „Funkenlänge", desto geringer die mögliche Frequenz bei Benutzung von rasch arbeitenden Unterbrechern.

Mit anderen Worten: Je mehr der Induktor eine Steigerung der Frequenz zulassen soll, desto geringer muß der Selbstinduktionscoëfficient sein. Bei einer derartigen Anordnung wird außer einer

Höchstleistung auch eine bedeutende Schonung des Röhrenmaterials bei richtiger Dimensionierung der Primäspule erreicht.

Außer der Wehnelt'schen Form existieren unter dem Namen der Elektrolytunterbrecher noch die sogenannten Diaphragma-Unterbrecher. Die Diaphragmaunterbrecher beruhen auf Verengung des Elektrolyten an einer Stelle, an der dann durch den Widerstand Stromwärme und Dampfbildung erzeugt wird. Die erzeugte Dampfhülle isoliert, unterbricht. Im Momente der Stromunterbrechung entsteht der Öffnungsextrastrom, und dieser durchschlägt, wie beim Wehneltunterbrecher, die isolierende Dampfhülle, die nun emporsteigt. Neuer Electrolyt tritt an ihre Stelle und stellt den Stromschluß wieder her.

Da sie sich für den ärztlichen Röntgenbetrieb weniger gut eignen, als die Electrolyt-Unterbrecher Wehnelt'scher Form, soll auf sie hier nicht näher eingegangen werden.

D.

Hilfsapparate und allgemeine Anordnung. Die Reguliermethoden.

86. Der Stromverlauf. Die Gesetze des Stromverlaufes im Röntgenapparat sind uns aus den ersten Abschnitten des Buches bekannt.

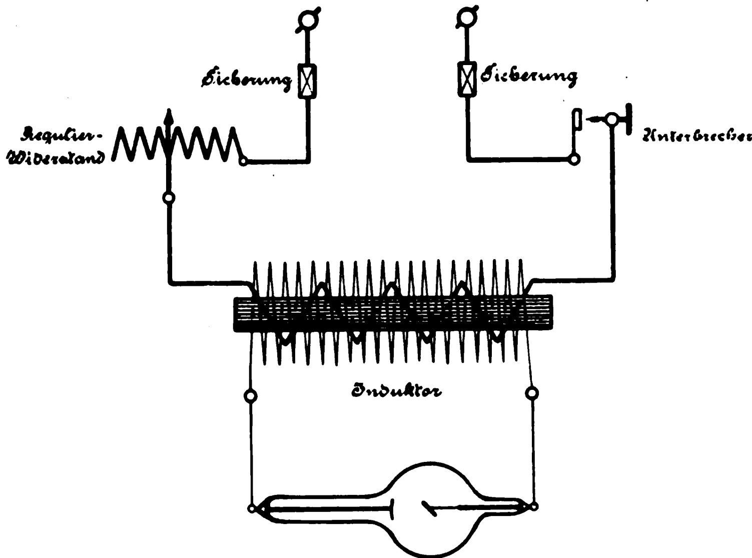
Der Stromweg ist ganz allgemein demnach folgender:

Von den beiden Polen einer Stromquelle führen Leitungen zum Apparate. Vom Punkte höheren Potentials, dem + Pol der Stromquelle, durchläuft der Strom (Fig. 40) in beliebiger Reihenfolge eine Unterbrechungsvorrichtung, die Primärspule eines Induktoriums und einen regulierbaren Widerstand.

Die Sekundärspule führt die ihr induzierten Stromimpulse der Röntgenröhre zu.

87. Die Aufeinanderfolge des Stromverlaufes. (Recapitulation.) Kommt der Stromverlauf zustande, so wächst die Stärke des primären Stromes nicht augenblicklich, sondern innerhalb einer gewissen Zeit bis zu einem Maximum an. Jedem Anwachsen der Stromstärke entspricht eine Induktionswirkung, und zwar sowohl in der Primärspule (Selbstinduktion) als auch in der Sekundärspule (Induktion). Die erstere Wirkung, die primäre Schließungsinduktion oder der Schließungs-Extrastrom, ist der Zunahme des primären, aus der Stromquelle kommenden Stromes entgegengesetzt gerichtet und bewirkt, daß er allmählich, nicht momentan ansteigt. Die Schließungsinduktion in der Sekundärspule ist ein schädlicher Faktor, weil mit der Öffnungsinduktion gearbeitet wird und die Schließungsinduktion (in der Sekundärspule) der Öffnungsinduktion entgegengesetzt gerichtet verläuft, die Röhre also in verkehrter Richtung passiert.

Je langsamer beim Stromschluß der Primärstrom zum Maximum wächst, desto geringer ist die schädliche Schließungsinduktion. Der Primärstrom wächst um so langsamer, je mehr er durch den Schließungs-Extrastrom aufgehalten wird, also je größer die Selbstinduktion der primären Spule ist und je geeigneter der Unterbrecher gewählt wird. Das Anwachsen des Primärstromes geht am langsamsten beim Platinunterbrecher, dann folgt der Quecksilber-



Figur 40.

unterbrecher, dann der elektrolytische, bei welchem die Schließungsinduktion am schädlichsten und größten ist. (Vergleiche 80, 85.)

Man wird, wenn nicht andere Gründe mitsprechen, dem Platinunterbrecher in dieser Beziehung den Vorzug geben vor dem Quecksilberunterbrecher, diesem wieder vor dem Elektrolyt-Unterbrecher.

Ist der Primärstrom so bis zu einer gewissen Stärke angewachsen, so wird er vom Unterbrecher geöffnet. Die Stromstärke fällt auf Null, aber nicht plötzlich, sondern allmählich. Jeder Verringerung der primären Stromstärke entspricht eine Induktion und zwar sowohl in der Primärspule (Selbstinduktion) als auch in der Sekundärspule. Der Induktionsstrom in der Primärspule bei der Stromunterbrechung, der primäre Öffnungs-Induktionsstrom oder Öffnungs-Extrastrom ist der Abnahme des Kraftfeldes entgegengesetzt gerichtet, sucht es also festzusetzen, bewirkt, daß es nicht plötzlich, sondern allmählich abnimmt. Die Öffnungs- oder Unterbrechungsinduktion in der Sekundärspule ist der Stromimpuls, mit dem wir arbeiten, auf dessen Intensität es ankommt.

Je rascher bei der Unterbrechung der Primärstrom auf Null sinkt, desto größer ist die nützliche sekundäre Unterbrechungsinduktion. Der Primärstrom fällt um so rascher ab, je weniger der Öffnungs-Selbstinduktionsstrom ihn daran hindert, je geringer die Selbstinduktion der primären Spule ist und je plötzlicher die Unterbrechung erfolgt.

Es ergibt sich also für die Unterbrechungsinduktion die Forderung, den Selbstinduktionscoëfficienten der Primärspule möglichst klein zu wählen, den Strom möglichst rapid zu unterbrechen und die sekundäre Windungszahl groß zu wählen.

Die sekundäre Induktion bei Schließung und Öffnung des Stromes würde ganz analog und gleichmäßig intensiv verlaufen, da eine Erhöhung der Selbstinduktion die Schließungs- und die Öffnungsinduktion herabsetzt. Es gibt jedoch ein Mittel (vergl. 74), den ÖffnungsExtrastrom zu reduzieren, den Stromabfall bei der Unterbrechung recht plötzlich zu machen, also den Öffnungsinduktionsstrom weit intensiver zu machen, als den Schließungsinduktionsstrom. Dieses Mittel ist die Verwendung eines Kondensators oder eines elektrolytischen Unterbrechers, worüber wir uns schon in den Abschnitten B und C eingehend informiert haben.

Durch dieses Mittel gewinnen wir ein entsprechendes Überwiegen der Öffnungs- über die Schließungsinduktion, und damit haben wir zu arbeiten.

88. Die Hilfsapparate. Zur Einleitung, Kontrolle, Regulierung und Beendigung dieses periodischen Stromverlaufes dienen Hilfsvorrichtungen.

Schalter. Der Einschalter dient zum erstmaligen Schließen und endgiltigen Unterbrechen des Stromverlaufes. Es ist prinzipiell natürlich gleichgiltig, wo der Einschalter seinen Platz hat, da der Stromfluß nur dann zustande kommt, wenn die Leitung zwischen den Polen der Stromquelle vollkommen besteht, an keiner Stelle unterbrochen ist. Tatsächlich müssen die Einschalter aber unmittelbar am Eintritts- oder Austrittspunkte des Stromes angebracht sein.

Einschalter bei Röntgenapparaten, die an Starkstrom — also alle Stromquellen außer eigenen kleinen Batterien niedriger Spannung — angeschlossen sind, sollen nur solche Schalter besitzen, die keine Stellung zwischen der vollen Einschaltung und vollen Ausschaltung zulassen. Sie müssen also sprunghaft funktionieren. Denn im Augenblicke der Ausschaltung wirkt der Schalter ja wie ein Unterbrecher. Es bildet sich an der Lücke zwischen den sich entfernenden Kontakten ein Extrastromfunke (siehe 74), der indessen nicht in einen Kondensator abgeleitet wird. Wird dieser Funke nicht durch die rapide Auseinanderbewegung der Kontakte zerrissen, so kann er zur Lichtbogenbildung führen, die das Metall der Kontakte verbrennt.

Auch müssen die Größenverhältnisse — muß insbesondere die Isolation eines Schalters der Stromart und Spannung entsprechen, für die er gebaut ist. Jeder Schalter soll die Stromstärke für die er gebaut ist, ebenso die Betriebsspannung für die er bestimmt ist, aufgeschrieben tragen.

Bei Anlagen von 220 Volt Spannung an aufwärts werden doppelpolige Ausschalter benutzt, d. h. solche, die den Strom am Eintrittspunkte und am Austrittspunkte des stromverbrauchenden Systems unterbrechen. Man gestaltet sie als Sprunghebelschalter, seltener als Dosenschalter aus.

Meßinstrumente.

Zur Kontrolle des primären Stromverbrauches dient das Ampèremeter. Man läßt den Strom an irgend einer Stelle eine kleine Arbeit verrichten, die proportional seiner Intensität ist.

Man kann ein Eisenstückchen durch ein Solenoid anziehen und den Grad seiner Bewegung auf den Zeiger übertragen (elektromagnetische Instrumente). Man kann den Strom durch einen Widerstandsdraht fließen lassen, der sich (37) beim Stromfluß erwärmt und ausdehnt (Hitzdrahtinstrumente). Durch die Ausdehnung läßt man einen Zeiger bewegen.

Verschiedene solche Methoden sind anwendbar. Es ist nur Voraussetzung, daß die gemessene Wirkung einzig und allein von der Stärke des Stromes abhängt.

Nun pulsiert ja eigentlich der Strom in dem Primärkreise des Röntgenapparates ständig zwischen Null und einem Maximum, entsprechend seiner Unterbrechung und seinem Schluß. Die elektromagnetischen Instrumente können mechanisch aber diesem sehr frequenten Pulsieren nicht nachkommen und stellen sich auf einen Mittelwert ein. Im Momente des Strommaximums kann die Stromstärke erheblich größer sein, als das Ampèremeter es zeigt.

Die gewöhnlichen, auf Magnetismus beruhenden (elektromagnetischen) Ampèremeter zeigen bei den Röntgenapparaten fast immer nur annähernd richtig, weil das Pulsieren des Stromes rascher vor sich geht, als das Magnetisieren, Entmagnetisieren und Ablenken (magnetische Trägheit, Hysteresis). Wir dürfen in den Angaben unserer magnetischen Meßinstrumente daher nur Näherungswerte erblicken, die oft recht weit von den Tatsachen abweichen. Die Hitzdrahtinstrumente zeigen dagegen richtig. Aber es ist nicht sehr bedenklich, daß die Ampèremeter etwas falsch zeigen, denn ihr Wert besteht ja nur insoferne, als sie eine vergleichende Kontrolle der beim Arbeiten mit einem Apparate in verschiedenen Fällen verbrauchten Stromstärken geben. Von zwei verschiedenen Apparaten können bei gleicher Erzeugung von X-Strahlen die primären Stromstärken sehr verschieden sein.*)

Zur Kontrolle der primären Stromspannung dient das Voltmeter. Die Stromstärke kann man an jedem beliebigen Punkte des Stromweges messen. Spannung besteht nur zwischen 2 oder

*) Über den Wert des Ampèremeters siehe auch Kompendium der Röntgenographie Seite 91 ff.

mehreren Punkten. Es kann von Interesse sein, die Spannung zu messen, entweder, wenn diese aus irgend einem Grunde an der Stromquelle inkonstant ist (z. B. bei Akkumulatoren, bei denen sie zurückgeht, wenn die Zellen sich entladen), oder, wenn man die Spannung variabel macht, sie reguliert.

Wenn zwischen 2 Punkten eine Potentialdifferenz besteht und die beiden Punkte durch einen Stromweg verbunden werden, dessen Widerstand ganz genau bekannt ist — sagen wir 1000 Ohm — und sich nicht ändert, so hängt die Stärke des durch diesen Widerstand fließenden Stromes nur noch von der Spannung ab. Mißt man den Strom mit genau den gleichen Methoden, wie beim Ampèremeter, so kann man an der Skala statt der Ampèrezahl die Voltzahl anbringen. Denn der Ausschlag ist nur dann doppelt so groß, wenn die Spannung doppelt so groß ist.

Das Voltmeter ist also ein Ampèremeter von ganz bestimmtem, sehr großem Widerstand. Statt daß es an einem Punkte in die Leitung eingefügt wird, bildet es die Verbindung zwischen den beiden Punkten, deren Potentialdifferenz man bestimmen will. Gut ist es, dem Voltmeter, das in einem eigenen, parallel geschalteten Stromkreise liegt („Nebenschluß“ zum eigentlichen primären Stromkreise), noch einen Ausschalter hinzuzufügen.

Sicherung. Beim praktischen Betriebe des Röntgenapparates können, wie bei jedem Apparate, Störungen eintreten. Als Beispiel wollen wir annehmen, daß z. B. der Unterbrecher versagt und, statt den Strom zu öffnen, ihn geschlossen läßt. Dann steigt dessen Stärke, gemäß dem Ohm'schen Gesetz, an und erreicht einen unter Umständen gefährlichen Grad. — Nehmen wir z. B. den Widerstand des ganzen Stromkreises mit 3 Ohm, die Spannung der Lichtleitung mit 120 Volt an, so würde beim Versagen des Unterbrechers die Stromstärke auf 40 Ampère anwachsen.

Dieser Betrag ist hinreichend, die Leitungsdrähte des Instrumentariums heiß zu machen, sodaß die Isolation schmilzt und der ganze Apparat in Gefahr gerät. — Auch durch andere Umstände — die Berührung zweier Leitungsdrähte, so daß der Strom, statt durch Induktor, Unterbrecher und Widerstände an der Berührungsstelle übergeht — kann der Strom zu abnormer Größe anwachsen. Man nennt diese Vorkommnisse, bei denen dem Strom ein bequemerer Leitungsweg geboten wird, sodaß er zu anormaler Höhe ansteigt, Kurzschlüsse, die dabei stromlos gemachten Wege „kurz geschlossen“.

Für alle diese Vorkommnisse gibt es ein einfaches Schutzmittel, das verhindert, daß der Strom über einen bestimmten Maximalbetrag ansteigt, die sogenannten Sicherungen. Man leitet den

Strom durch kurze, dünne Streifen aus leicht schmelzbarem Metall. Wird der Strom zu stark, so schmelzen diese Sicherungen und unterbrechen den Strom selbst. Gemäß der normalen Betriebsstromstärke erhalten die Sicherungen eine bestimmte Länge, Breite und Dicke. Eine Sicherung für 10 Ampère z. B. ist so eingerichtet, daß sie bei ca. 18—22 Amp. schmilzt und den Strom unterbricht.

Ist eine Sicherung durchgeschmolzen, so sucht man zunächst die Ursache des Anwachsens des Stromes und beseitigt diese. Dann nimmt man sie, nachdem man den Leitungsstrom durch Ausschalten unterbrochen hat, heraus und ersetzt sie durch eine neue. Mit dem Alter nimmt das Leitungsvermögen der Sicherungen, die beim Betriebe immer erwärmt werden, ab, und es mag nach einiger Zeit dann wohl vorkommen, daß eine Sicherung ohne Verletzung schmilzt — durchbrennt, wie der terminus technicus heißt.

Solche Sicherungen dienen beim Röntgenapparat zum Schutze des Primärkreises, wie auch zum Schutze eventueller Parallel-Kreise. Besitzt der Röntgenapparat z. B. eine elektrische Lampe, so soll auch diese mit einer Sicherung versehen sein.

Vorschriften des Verbandes über Montage der Apparate.

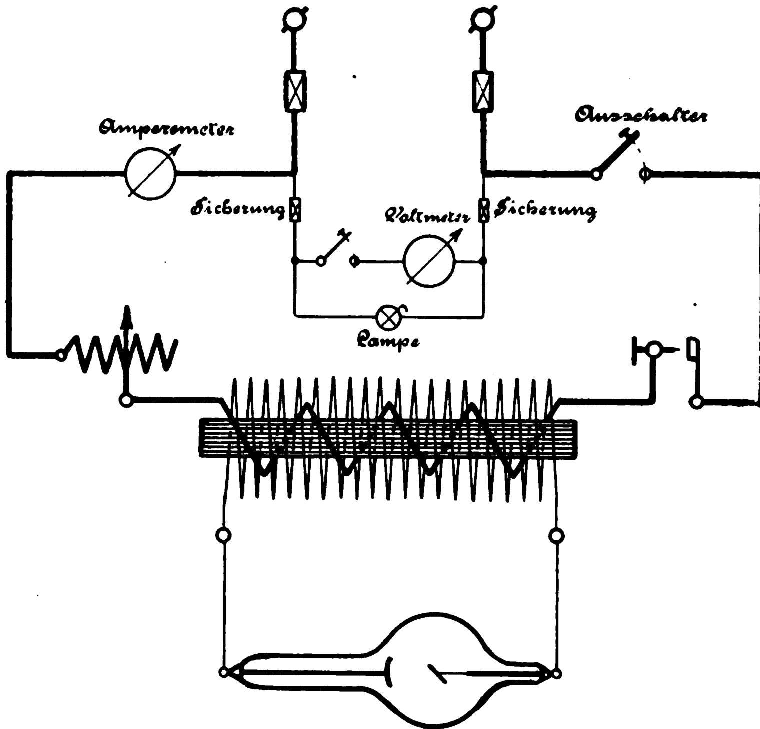
Der Verband deutscher Elektrotechniker, ein Verein, der die bedeutendsten Fachleute umschließt und die ersten Autoritäten des Gebietes zu seinen Mitgliedern zählt, hat Vorschriften über Sicherungen und andere Schutzvorrichtungen der elektrischen Anlagen erlassen. Diese Vorschriften sind maßgebend, weil aus tausendfältiger Erfahrung von den ersten Theoretikern und Praktikern ausgearbeitet. Sie sind die Unterlage für die Feuerversicherungsgesellschaften und sollen daher, damit man vor Ankauf seine Apparate danach untersuchen kann, soweit sie auf Röntgenapparate Bezug haben, hier Platz finden.

Alle Leitungskreise der Apparate, sobald sie mit der Lichtleitungsspannung von 65, 110, 150, 220 oder mehr Volt betrieben werden, müssen doppelpolig gesichert sein, das heißt (vergl. Fig 40 und 41) zunächst jedem Pole der Stromquelle muß je eine Sicherung sein, — auch eine Glühlampe muß gesichert sein.

Der Verband schreibt ferner vor: Alle Leitungen — bei den genannten Anschlußspannungen — müssen sorgfältig isoliert sein. Die Schalter, Sicherungen, Anschlußdosen müssen für die Stromstärken, mit denen sie arbeiten, genügend groß sein und am besten die Ampère- und Voltzahl, für die sie bestimmt sind, aufgeschrieben tragen.

Alle Leitungen, die in der Nähe von sich erwärmenden Widerstandsspiralen liegen, müssen mit Asbest, jedenfalls feuersicher isoliert sein. Niemals darf — bei Spannungen über 65 Volt — die Leitung, sei sie auch mit Isolation umsponnen, in direkter Berührung mit brennbaren Gegenständen sein. Es ist also unstatthaft, bei Spannungen über 65 Volt die Leitungen auf oder unter Holztafeln zu schlagen, sodaß sie diese berühren. Die Leitungen müssen auf feuerfeste (Porzellan-) Isolatoren verlegt werden. Wird eine Leitung durch eine Holztafel geführt, so darf dies nur unter

Verwendung einer Durchführung aus Porzellan oder anderem feuerfestem, isolierendem Material geschehen. Es ist überhaupt empfehlenswert, Marmortableaux für diese Apparate zu benutzen, weil dann die Isolation sehr vereinfacht wird. Es ist immerhin nützlich,

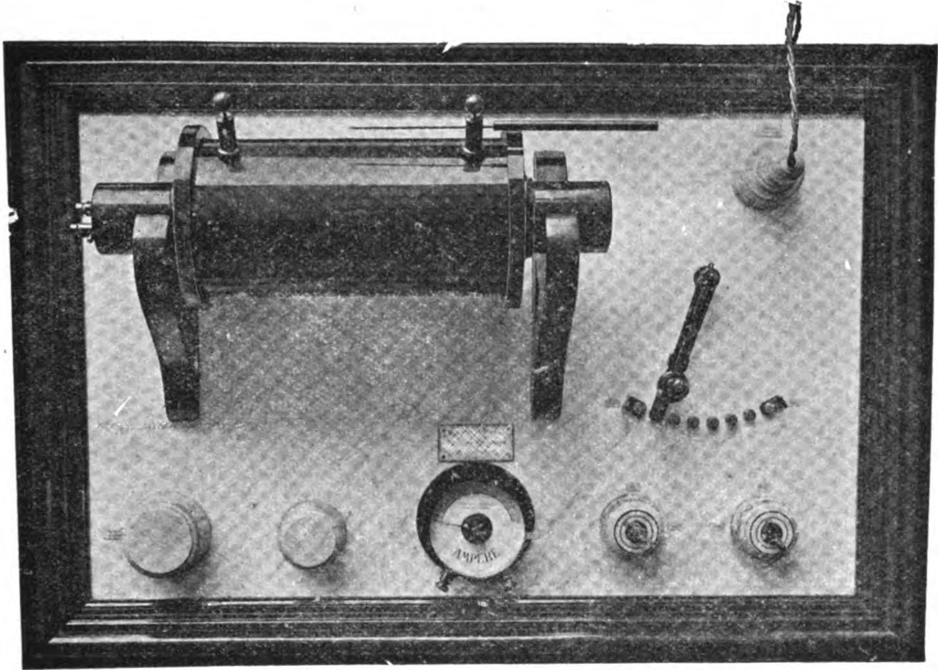


Figur 41a.

sich auch auf diese Umstände, die zwar für die Leistung ohne Belang sind, den Apparat auch etwas anzusehen. — Auch für andere elektromedizinische Anschlußapparate mag das gelten.

Dagegen gibt es in einzelnen Städten Spezialvorschriften, die teilweise nicht ganz ausschließlich von wissenschaftlichen oder technischen, sondern von finanziellen Rücksichten diktiert sind und Veranlassung waren, daß manche die Radiographie ausübende Anstalten Chikanen durchzumachen hatten. So verlangten einige städtische Elektrizitätswerke, daß Dosen, Sicherungen, Schalter irgend eines bestimmten Modells, an dem sie Interesse haben, verwendet werden. — Diesen Chikanen gegenüber mag betont werden, daß der Röntgenapparat, als wissenschaftliches Laboratoriums- und Untersuchungsinstrument, unter fachkundiger Handhabung strenggenommen wohl weder den Verbandesvorschriften,

noch den Vorschriften des Werkes untersteht. Man wende sich in solchen, immerhin vereinzelten Fällen an die Lieferanten, die mit Rat und Auskunft zu Diensten stehen dürften. *)



Figur 41 b.

Als weiterer, wenn auch weniger wichtiger Nebenapparat am Röntgeninstrumentarium kommt die Beleuchtungsvorrichtung in Frage. Man bedarf bei Benutzung des Instrumentes eines gedämpften, am besten roten Lichtes, das am Apparat selbst angebracht sein kann. Hierüber folgen nähere Mitteilungen bei der Betrachtung der Einrichtung des Röntgenzimmers. Beleuchtungs-einrichtung.

Ein allgemeines Schaltschema der Röntgenanlage unter Berücksichtigung der obenerwähnten Teile gibt Figur 41 wieder.

Dieses allgemeine Schaltschema erleidet Modifikationen,

1. mit Rücksicht auf die Gleichstromquelle und die Unterbrechungsvorrichtung des Röntgenapparates; 89. Die allgemeine Anordnung und ihre Modifikationen.
2. mit Rücksicht auf seine Regulierung;
3. bei Wechselstrombetrieb.

*) Auch die Herausgeber sind zur Auskunftserteilung in solchen Konflikten bereit.

I. Durch die benutzten Unterbrecher.

Über Stromquellen und Unterbrecher ist das Wesentlichste in Abschnitt A und C dieses Kapitels bereits vorweggenommen. Es erübrigt noch, diese Ausführungen im Zusammenhang mit dem ganzen Instrumentarium im Nachfolgenden zu ergänzen.

a) Platinunterbrecher.

Die Platinunterbrecher eignen sich vortrefflich für Spannungen bis 40 Volt, in Spezialkonstruktionen bis 100 Volt. Bei höherer Spannung versagen sie leicht, weil die Berührungskontakte bei erhöhter Stromstärke sich zu sehr erhitzen und starke Feuererscheinungen entstehen.

b) Quecksilberunterbrecher.

Die Quecksilberunterbrecher arbeiten gleichfalls mit niederen und mittleren Spannungen am besten. Für moderne Betriebe kommen die alten Quecksilberunterbrecher mit Tauch-Kontakten wegen ihrer zu geringen Frequenz garnicht mehr in Frage. Bei Spannungen von 110 Volt und darüber verschlammen die Quecksilberunterbrecher schon sehr stark, aus demselben Grunde, aus dem die Platinunterbrecher zu „brennen“ beginnen (vergl. 74, 84).

Das vollkommenste Modell, der neue Boassche Turbinenunterbrecher, hat nur sehr geringe Verschlammung und findet deshalb in Betrieben, die aus irgend welchen Gründen vom Elektrolyt-Unterbrecher absehen, häufig Verwendung.

Bei Benutzung von Quecksilbermotorunterbrechern (einfacher Tauchunterbrecher mit Motorbetrieb, Turbinen-, Quecksilberstrahl- und Quecksilbergleitkontakt-Unterbrecher) dient ein Elektromotor zur Bewegung der Unterbrechungsvorrichtung. Dieser Motor wird von der Stromquelle angetrieben, besitzt also einen eigenen Stromkreis. Er braucht demgemäß eigene Schalter, Sicherungen, einen eignen Widerstand zum Regeln der Tourenzahl. Hierdurch wird der Apparat naturgemäß kompliziert.

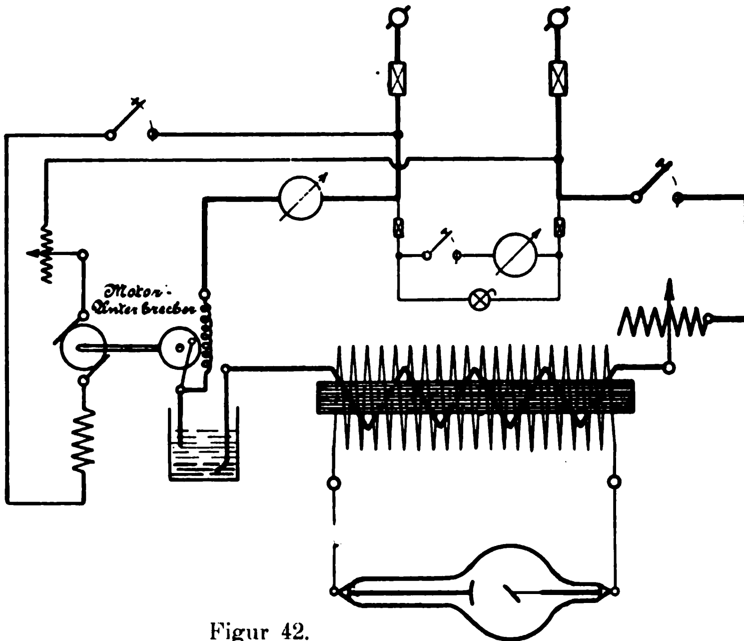
Im Schaltschema (Fig. 42) ist der durch einen Motor angetriebene Quecksilberunterbrecher durch einen Tauchkontaktunterbrecher angedeutet.

Die Regelung der Unterbrechungszahl ist ziemlich bequem durch die Benutzung eines Motors. — Ganz allgemein ist die Benutzung dieser Unterbrecher selten besonders vorteilhaft, da sie, abgesehen von ihrer Umständlichkeit in Handhabung und Reinerhaltung, bei Batteriebetrieb von einem guten Platinunterbrecher, bei Netzanschluß von den Elektrolyt-Unterbrechern an Leistung übertroffen werden (vergl. auch 80 bis 85). Einzelfälle geben Indikationen zur Benutzung solcher Unterbrecher. Der wichtigste Anwendungsfall ist der Betrieb bei 220 Volt Gleichstrom, insbesondere Dreileitersystemen mit 2×220 Volt (vergl. 66).

c) Wehnelt.

Der Wehnelt-Unterbrecher soll stets exakt „ansprechen“, d. h. beim Einschalten des Röntgenapparates sofort in Funktion treten. Er muß sich bequem regulieren lassen. Wie schon (85) erwähnt, nimmt mit wachsender Berührungsfläche zwischen Anode und Säure die primäre Stromstärke zu, die Unterbrechungszahl ab. Mit der Zunahme des Primärstromes ergibt sich eine Zunahme der Feldstärke, der (Schließungs- und) Öffnungsinduktion.

Man hat, von diesem Zusammenhang ausgehend, Elektrolyt-Unterbrecher konstruiert, bei denen mehrere Anoden mit verschieden großen Berührungsstellen in die Säure tauchen. Von jeder Anode führt ein Kabel zum Röntgenapparat. Mit Hilfe eines Umschalters



Figur 42.

kann nach Belieben die eine oder andere Anode gewählt und so Zahl und Intensität der Unterbrechung variiert werden. Auf diese Weise ist ein Teil der Regulierung des Apparates in die Unterbrecher verlegt

Ein anderer Gesichtspunkt, dem der Verfasser besonders bei einfachen Apparaten sympathischer gegenübersteht, ist der: Durch die Bestimmungsstücke des verwendeten Induktoriums (seine Eisenmenge, Windungszahl etc.) ist ein Optimum für den Elektrolyt-Unterbrecher von vornherein gegeben. Man kann Elektrolyt-Unterbrecher und das übrige Instrumentarium zu einer sehr feinen Abstimmung bringen, bei der dann die beste Leistung bei geringstem Strom und Materialverbrauch resultiert. Durch den gleichfalls angepaßten Widerstand ist es möglich, die Leistung der Apparate in sehr weiten Grenzen zu regulieren, wenn nur der Elektrolyt-Unter-

brecher so konstruiert ist, daß er im ganzen Reguliergebiet zuverlässig funktioniert und gut anspricht und sehr leicht die beste Stellung finden läßt. Nicht jede Konstruktion der Elektrolyt-Unterbrecher erfüllt diese Bedingung (vergl. 111).

Die Metallteile der Elektrolyt-Unterbrecher müssen möglichst vor der Zerstörung durch Säure geschützt sein. Die Anodenzuführung, die Regulierteile des Unterbrechers können nicht durchaus säurefest gemacht werden. Insbesondere aber wird die Stelle der Anode, wo der Platinstift eingesetzt ist, leicht von der Säure angefressen und von Zeit zu Zeit zerstört. Man hält sich einen Reservestift bereit.

Elektrolyt-unterbrecher bei Gleichstrom-Anschluß.

Der Elektrolyt-Unterbrecher arbeitet nicht ganz geruchlos. Es ist ratsam, ihn in ein anderes Zimmer, in einen Gang oder Keller zu bringen, damit die Säuredämpfe und sein Geräusch nicht stören. Das Geräusch des Unterbrechers richtet sich nach der Unterbrechungszahl — man kann daraus auf diese schließen — und ist, wenn die Abstimmung zwischen Unterbrecher und Induktorium gut ist, nicht allzu laut und störend. Ist die Abstimmung keine gute, so macht sich sofort eine sehr unangenehme Vermehrung des Geräusches geltend. Man kann in gewissen Grenzen von dem mißtönenden Geräusch sicher auf die mangelnde Uebereinstimmung zwischen Unterbrecher und Apparat schließen.

Der Elektrolyt-Unterbrecher, und zwar zweckmäßig ein solcher nach Wehnelt'schem Prinzipe, findet Anwendung bei einer Betriebsspannung von nicht unter 50 Volt. Er arbeitet am besten bei 100—160 Volt, während er bei höheren Betriebsspannungen schon wiederum an Rationalität und Gleichmäßigkeit des Arbeitens einbüßt. Man tut gut, bei diesen höheren Spannungen die Voltzahl durch ein besonderes Hilfsmittel, den Abzweigwiderstand, zu erniedrigen (siehe 99).

Hinsichtlich der Leistung übertrifft der Wehnelt alle anderen Unterbrecher bei weitem. Denn keine mechanische Unterbrecherkonstruktion kann die Exaktheit und Schnelligkeit der Verdampfungsvorgänge erreichen, welche bei ihm Ursache der periodischen Stromschlüsse und Stromöffnungen sind. Da aber beim Stromschlusse der Anstieg des Primärstromes, der Feldstärke rascher vor sich geht, ist beim Wehneltunterbrecher die Schädlichkeit der Schließungsinduktion größer. Um sie zu kompensieren und damit den Röhrenverbrauch geringer zu machen, sind bei ihm besondere Maßregeln angezeigt, insbesondere dann, wenn der verwendete Induktor eine große sekundäre Windungszahl hat und die Betriebsspannung groß ist. Diese Maßregeln werden wir später kennen lernen (99 ff. 138.)

Bei Anschluß des Röntgenapparates an einen Gleichstrom nützt sich der Elektrolyt-Unterbrecher nicht ab, bis auf das allmähliche Anfressen einzelner Teile durch die Säure. Auch die Konzentration der Säure ändert sich nur sehr wenig — und diese Änderung ist (von 1,15 bis 1,24 sp. Gewicht) so ziemlich ohne Belang für den Betrieb.

Dagegen tritt bei Anschluß an Wechselstromleitungen ein nicht unbeträchtlicher Platinverbrauch ein.

Die Reguliermethoden.

90. Die Anordnung der Anlage und ihre Modifikationen. II. Durch die Reguliermethoden.

Hinsichtlich der Regulierungsmethoden der X-Strahlen-Apparate unterscheiden sich die „Systeme“, speziell in neuerer Zeit, wie im Bau der Induktoren und der Unterbrecher. Schon im ersten Teile des Buches lernten wir kurz die Gesichtspunkte kennen, nach denen Leistung und Regulierung der Apparate zu beurteilen ist, und die Faktoren, deren Variation zur Regulierung der Apparate in Frage kommen kann.

Forderungen an die Reguliermethoden.

Die Differenz zwischen Öffnungs- und Schließungsinduktion soll groß, d. h. die Spannung jener genügend sein, den Widerstand des Sekundärkreises zu überwinden, während die Spannung der Schließungsinduktion im Verhältnisse zum Widerstand der Röhre möglichst klein sein soll. Die Intensität jeder einzelnen Entladung des Induktors, die die Röhre passiert, soll groß und zur Regulierung variabal sein. Ebenso hängt die Menge der erzeugten X-Strahlen von der Frequenz der Entladungen ab — also die Regulierung des Apparates von der Regulierung dieser Frequenz.

Ganz allgemein lernten wir (29) noch die Regel kennen, eine Röhre immer möglichst „weich“, also mit möglichst geringem Widerstande und so zu benutzen, daß sie für ihre Leistung möglichst wenig belastet wird (vergl. 129).

Eine praktische Consequenz finden diese Momente in der Forderung, daß eine möglichst einfache Regulierung unter möglichst großer Schonung der Röhre leicht und sicher denjenigen Grad der Belastung finden und einstellen lasse, der für den Zweck der Durchleuchtung und Aufnahme der beste ist.

Konstruktiv ergeben sich daraus bei den einzelnen Stromquellen und Unterbrechergattungen verschiedene Lösungen.

Regulierung bei Batteriebetrieb.

Am einfachsten ist die Regulierung von Apparaten mit Batteriebetrieb.

Bei der Anwendung mechanischer Unterbrecher ist hier die Differenz zwischen Öffnungs- und Schließungsinduktion ohnehin

groß, und es braucht wenig Rücksicht auf sie genommen zu werden Es kommt wesentlich darauf an, die Menge der in der Röhre entstehenden X-Strahlen in recht weiten Grenzen und recht einfach regulieren zu können.

Hierzu gibt es zwei Methoden: die Regulierung der Frequenz der Induktionsstöße und die Regulierung der Intensität jedes einzelnen Induktionsstoßes.

91. Die Regulierung durch Variation der Frequenz.

An und für sich ist es nun ganz gleichgiltig, welchen Weg man beschreitet. Aber die Regulierung der Frequenz ist nach oben und unten eng begrenzt. Nach oben durch die Unfähigkeit aller mechanischen Unterbrecher, gewisse Frequenzen zu überschreiten, nach unten, weil bei langsamen Unterbrechungen die Röhre stark intermittierend leuchtet, das Röntgenlicht zuckt, flackert und eine Beobachtung unmöglich macht oder doch erschwert.

Der höchste Grad der erreichbaren Frequenz liegt bei Batteriebetrieb im allgemeinen weit unter dem Grade, den der Induktor gemäß seiner Konstruktion zulassen würde. Die einfachen mechanischen Unterbrecher besitzen (vergl. 80, 85.) zu geringe Schwingungszahlen, das Gleiche gilt von den Motor-Unterbrechern mit Eintauchkontakten. Am günstigsten verhalten sich die Quecksilberturbinen-Systeme, insbesondere der Boas'sche neue Turbinen-Unterbrecher und der Platinschnellunterbrecher (s. 81, 83).

Sollte bei der abgekürzten Kontaktdauer die Intensität der Einzelentladung groß bleiben, so würde das, wie gleich gezeigt werden wird, eine Erhöhung der Betriebsspannung zur Voraussetzung haben. Die Betriebsspannung ist aber beim Akkumulatorenanschluß eben beschränkt. Die Anwendung eines Elektrolyt-Unterbrechers ist nicht angängig, weil dieser sehr hohe Betriebsspannungen verlangt (mindestens 60—80 Volt), um seine überlegene Leistung zu geben und zu seiner großen Leistung auch erhebliche Stromstärken verbraucht, größere als der doch immerhin beschränkten Kapazität einer Akkumulatorenbatterie zuträglich ist.

92. Forts. Die Bedeutung des Induktors bei der Regulierung.

Da beim Batteriebetrieb die Schließungsinduktion, wie erwähnt, wenig wirksam ist, so kann hier, ohne die Abnutzung allzusehr zu vergrößern, die sekundäre Windungszahl, die Schlagweite des Induktors größer gewählt werden, als beim Starkstromanschluß. Dies ist auch deswegen angängig, weil doch eine größere Frequenz bei dem Batteriebetrieb nicht erreicht werden kann und daher die magnetische Trägheit eines solchen Induktors von größerer Funkenlänge bei den meisten Unterbrechern nicht so sehr in's Gewicht fällt.

Die Regulierung der Frequenz. Forts.

Die minimale Frequenz ist also die, bei welcher die Röhre und der Leuchtschirm ruhiges Licht geben. Daraufhin ist die Anlage zu prüfen. Eine Steigerung der Frequenz soll durch die

Regulierung noch möglich sein. Sie ist je nach Bedarf zulässig und rätlich, solange zie zur Erhöhung der Lichthelligkeit beiträgt und ohne zu starke Beanspruchung des Unterbrechers, der Röhre und der Stromquelle ausgeführt werden kann.

Die Unterbrechergattungen, welche einen eigenen Stromkreis besitzen, gestatten eine Regulierung der Unterbrechungszahl durch einen eigenen in den Stromkreis eingeschalteten regulierbaren Widerstand. Man zwingt den Strom, bevor er zum Motor des Unterbrechers gelangt, einen mehr oder weniger großen Teil des Widerstandes zu passieren und schwächt auf diese Weise nach dem Ohmschen Gesetz seine Stärke. Die Tourenzahl des Motors hängt von der Stärke des Stromes ab und wird daher durch diese Regulierung beeinflußt. Die maximale Tourenzahl und Unterbrechungsfrequenz erreicht der Unterbrecher dann, wenn der den Strom abschwächende Widerstand vollständig ausgeschaltet, außer Wirkung gesetzt ist, und diese Tourenzahl hängt dann nur von der Spannung der Batterie, der Konstruktion des Motors, sowie von der durch ihn zu leistenden Antriebsarbeit ab. Es muß infolgedessen der Motor so gebaut sein, daß er der Spannung der Batterie gerade entspricht, Zellenanzahl und Motorkonstruktion müssen übereinstimmen. Man kann deshalb auch den Unterbrecher für eine andere Spannung nicht ohne weiteres benutzen. Bei Motorunterbrechern.

Die Spannungen der Batterien für den Betrieb von Röntgenapparaten wähle man, um eine möglichste Frequenz erreichen zu können, nicht zu klein, 24—32 Volt, also 12—16 Zellen in einige Kästen des leichteren Transportes halber zusammengebaut, dürften durchschnittlich genügen. Bei Wahl der Batterie sind natürlich Einbau und Qualität der Akkumulatorenzellen zu beachten. Die Kapazität beträgt im Durchschnitt 18—40 Ampèrestunden (vergl. 69, 70). Die Batterien der meisten Firmen, die sich mit deren Herstellung befassen, sind recht gut und solide ausgeführt. Forts. Die Größe der Batterie.

93\. Die Regulierung durch Variation d. Intensität.

Die Intensität jeder einzelnen Entladung als zweites Moment der Regulierung hängt von Faktoren ab, die wir in (50, 51 ff., 56, 58, 71 ff., 78) kennen lernten. Es erscheint zunächst ganz gleichgiltig, welchen dieser Faktoren — magnetisches Moment, Ampèrezahl, Windungszahl — wir zur Variierung der Intensität wählen. Voraussetzung für die Güte des Röntgenapparates ist, daß er gestattet, überhaupt kräftige Öffnungsinduktionsentladungen der Röhre zuzuführen, also daß bei Stromschluß ein kräftiges magnetisches Feld entsteht, daß die Unterbrechung, der Feldabfall dann plötzlich erfolgt und der entstehende Öffnungsextrastrom bei mechanischen Unterbrechern durch den Kondensator möglichst unschädlich gemacht wird.

a) Die Rolle des Unterbrechers. Bei allen mechanischen Unterbrechern entsteht im Momente der Stromunterbrechung ein „Öffnungsfunke“ zwischen den von einander sich trennenden Kontakten (vergl. 74, 84). Dieser Öffnungsfunke wird durch den Öffnungs-Extrastrom hervorgebracht, der ja bei dem rapiden Abfall der Stromstärke im Augenblick der Unterbrechung eine hohe Spannung besitzt. Tritt in diesem Augenblicke der Kondensator nur unzureichend in Tätigkeit, so fließt der Öffnungs-Extrastrom in diesen Funken und setzt den unterbrochenen Strom fort, macht den Abfall der Feldstärke bei der Unterbrechung flach, sodaß die sekundäre Öffnungsinduktion gering wird.

Zwischen den zur Unterbrechung verwendeten Metallen, Quecksilber und Kupfer oder Platin, bildet sich ohnehin schon der Öffnungsfunke schwerer, wie zwischen anderen Metallen. Deswegen werden diese Metalle eben für die Unterbrecher verwendet. Die Intensität des Unterbrechungs-Induktionsstoßes hängt ab von der Rapidität der Unterbrechung, d. h. der Geschwindigkeit der Entfernung der beiden Kontakte von einander und der entsprechenden Kapazität des Kondensators. Die Kapazität des Kondensators muß also sorgsam mit dem Instrumentarium abgestimmt sein.

Auf die Einzelheiten der Unterbrecherkonstruktionen bezüglich der Rapidität der Entfernung ihrer Kontakte soll nicht näher eingegangen werden. Die gewöhnlichen Arten der Unterbrecher genügen dieser Forderung durchweg, am wenigsten wohl die Gleitkontaktunterbrecher. Die Quecksilberunterbrecher arbeiten alle mit einer sogenannten „Deckflüssigkeit“, d. h. die Unterbrechung findet nicht an der Luft, sondern in einer Flüssigkeit statt (Wasser, Petroleum, Alkohol), die den Funken löschen soll. (Vergl. C. 84.)

b) des Induktors. Die Vermehrung der Stärke des Feldes vor der Unterbrechung und damit die Spannung und Intensität der Sekundärentladung kann durch Veränderung der Eisenmenge oder Windungszahl der Primärspule erfolgen. Beide Methoden sind praktisch kompliziert. Ein sorgfältig gebauter Induktor besitzt günstige Verhältnisse zwischen den Kupfergewichten (59, 78) der primären und sekundären Spule und zwischen diesen und der Eisenmenge. An diesen, vom Konstrukteur mit Rücksicht auf den Gebrauchszweck einmal eruierten Verhältnissen sollte möglichst wenig geändert werden.

c) der Ampèrezahl. Der Rheostat. Für die Regulierung der Feldstärke im Unterbrechungsmomente bleibt als einfachster Weg die Variation der Ampèrezahl. Diese kann, nach dem Ohm'schen Gesetz (6b) auf zweierlei Weise geschehen, durch Änderung der Betriebsspannung, der Voltzahl und durch Regulierung des Widerstandes.

Da die Betriebsspannung gegeben und bei Batteriebetrieb nur umständlich zu ändern ist, reguliert man die Ampèrezahl ganz allgemein durch einen in den Induktorstromkreis eingeschalteten, ganz einfachen Regulierwiderstand. Die Widerstandsgröße dieses Rheostaten ist vom Konstrukteur gut dem ganzen Instrumentarium anzupassen. Die Regulierung soll in möglichst feiner Abstufung und möglichst bequem vorgenommen werden können. Auch soll hier — wie überall — der Widerstand nicht zu klein

dimensioniert sein, damit er beim Stromdurchgang nicht zu heiß wird.

94. Kriterium der Regulierung.

Ob nun die Regulierung mehr durch die Frequenz der Unterbrechungen oder durch die Intensität der Einzelentladung oder durch beide Methoden zugleich ausgeführt wird, ist an sich gleichgiltig. Über die Möglichkeit einer guten Regulierung entscheidet einzig und allein die eingeschaltete Röhre, deren Leistung man auf einfache Weise bei ruhigem Licht innerhalb der durch die Leistung des Apparates gegebenen Grenze möglichst fein abstufen und möglichst tief regulieren kann — ohne daß der Unterbrecher oder ein andrer Teil des Apparates dabei in seiner Arbeit gestört oder beeinträchtigt wird.

95. Die Regulierung bei Starkstrombetrieb. Gleichstromanschluß.

Die Regulierung der an Starkstrom angeschlossenen Apparate, und zwar zunächst der an Gleichstrom angeschlossenen, untersteht genau denselben Gesetzen und Erwägungen. Auch hier kann prinzipiell die Regulierung durch Änderung der Intensität der Einzel-Entladung und durch Variation ihrer Frequenz erfolgen. Nur insofern erleiden die Verhältnisse eine Verschiebung, als der erhöhten Spannung und der Eigenart des elektrolytischen Unterbrechers Rechnung getragen werden muß.

96. Forts. Bedeutung der Spannung.

Je höher die Betriebsspannung ist, desto kürzer kann ceteris paribus die Kontaktdauer sein, um die Stärke des magnetischen Feldes herbeizuführen, die zur Erzeugung eines intensiven Öffnungsinduktionsstoßes nötig ist (vergl. 50, 74, 80). Es kann bei Starkstromanschluß infolge der erhöhten Spannung also die Frequenz der Unterbrechung viel höher gesteigert werden; zugleich aber nimmt durch das raschere Anwachsen des Feldes beim Stromschlusse die Schließungsinduktion beträchtlich zu. Vermöge der erhöhten Spannung muß ihr Wert jetzt besonders in Rücksicht gezogen werden.

Es gilt also, die schädliche Schließungsinduktion so klein wie möglich zu machen und zu diesem Zwecke die sekundäre Windungsanzahl nicht größer zu wählen, als es nötig ist oder die primäre zu vermehren.

97. Forts. und des Induktors für die Regulierung.

Arbeitet man bei Lichtleitungsanschluß mit Funkeninduktoren von großer Funkenlänge, so erreicht die Schließungsinduktion fast unvermeidlich einen Wert, der den Widerstand der weichen Röhren, mit denen wir ja im Röntgenverfahren fast ausschließlich arbeiten müssen, überwindet und (25, 32) ihnen gefährlich wird. Um die Spannung der Schließungsinduktion trotz der größeren sekundären Windungszahl zu erniedrigen, kann man entweder die primäre Stromstärke abschwächen oder den Anstieg (80) der Feldstärke recht flach zu machen versuchen. Dies könnte man ohne weiteres durch Reduzierung der Betriebsspannung, wenn der elektrolytische Unterbrecher nicht an hohe

Betriebsspannung (85) gebunden wäre. Man kann die Anstiegkurve aber auch dadurch verflachen, daß man der Primärspule eine recht große magnetische Trägheit verleiht, also Eisenmenge und Windungszahl, mit einem Wort, den Selbstinduktionskoëffizienten primär groß macht. Durch Extrastrom und Hysteresis verzögert, wächst der Strom und das Kraftfeld langsamer zu seiner maximalen Höhe und die Spannung der Schließungsinduktion erreicht einen nur geringeren, der Röhre nicht so sehr gefährlichen Grad (vergl. 78, 79).

Bei der Unterbrechung ist aber diese erhöhte magnetische Trägheit in ganz demselben Maße wirksam und es entsteht ein verstärkter Öffnungsextrastrom, der nun auch den Verlauf der Abfallkurve verflacht. Beim Elektrolytunterbrecher-Betrieb kann dem erhöhten Öffnungsextrastrom nicht begegnet werden. Infolge dessen nimmt jetzt auch die Spannung der Unterbrechungsinduktion ab. Man reduziert also die schädliche Schließungsinduktion und die nützliche Öffnungsinduktion gleichzeitig. Das ist die Wirkung der Walterschaltung.

Zugleich geht die Reduktion wieder auf Kosten der Frequenz, denn die erhöhte magnetische Trägheit gestattet nicht mehr, den Vorteil der höheren Spannung und des Elektrolytunterbrechers auszunützen. Die Unterbrechungszahl nimmt ab, und zwar entspricht die Verlangsamung gerade der Funkenlänge, d. i. der sekundären Windungszahl, denn je größer diese ist, desto mehr ist man gezwungen, durch Erhöhung der magnetischen Trägheit die Schließungs- und damit zugleich die Öffnungsinduktion herabzusetzen.

Bei Anwendung eines Induktors von geringerer sekundärer Windungszahl ist die Schließungsinduktionsspannung bei richtiger Konstruktion so klein, daß sie die weiche Röhre nicht allzusehr schädigt. Die Öffnungsinduktionsspannung ist so groß, als es notwendig ist, um der Röhre die intensivsten Entladungen zuzuführen, die ihr zuträglich sind. Die Differenz zwischen Öffnungs- und Schließungsinduktion ist also von vornherein der Röhre, d. h. ihrem Widerstand angepaßt, die Verhältnisse sind so, wie sie bei großen sekundären Windungszahlen erst künstlich durch Reduktion von Schließungs- und Öffnungsinduktion geschaffen werden müssen (79). Ein Unterschied besteht darin, daß man bei der Anwendung größerer sekundärer Windungszahl (Funkenlänge) einiger Vorteile verlustig geht, die der Elektrolyt-Unterbrecher bietet. Die Frequenz wird reduziert (und dadurch die Leistung — Röntgenlichtmenge), der Elektrolyt-Unterbrecher in Arbeitsverhältnisse gedrängt, für die er seiner Natur nach sich nicht eignet und die darum seine Rationalität beeinträchtigen.

Damit soll nun nicht gesagt sein, daß mit großen Funkenlängen ausgestattete Induktorien gute Aufnahmen weniger zulassen. Aber dann liegt der Vorteil nicht in der vergrößerten Funkenlänge begründet, sondern die Aufnahme kommt trotz ihr zu Stande. 98. Forts. Funkenlänge und Regulierung.

Als Ergebnis einer nun durch 6 Jahre hindurch sich abspielenden Diskussion über diese Frage der Funkenlänge kann endgiltig folgendes festgelegt werden:

Eine Vergrößerung der Funkenlänge über das zum Betrieb der Röhre zur Überwindung ihres maximalen Widerstandes notwendige Maß von 25—35 cm Luftstrecke hinaus bringt unter gar keinen Umständen an und für sich einen Vorteil. Es ist also vom Standpunkt des Arztes aus zur Erzeugung der günstigsten Stromverhältnisse für die Röhre für Aufnahme und Durchleuchtung absolut zwecklos und weder theoretisch noch empirisch zu rechtfertigen, wenn die Funkenlänge über dieses Maß hinaus gesteigert wird. Dagegen erscheint es als wichtig und zweckmäßig, die Leistungsfähigkeit des Induktoriums, das ist sein Eisengewicht, sein primäres und sein sekundäres Kupfergewicht, recht groß zu machen, damit die Intensität der sekundären Entladung, damit das Gesamtmaß der transformierten und der Röhre zugeführten elektrischen Energie möglichst reichlich sei. (Vergl. Boas: zur Induktorenfrage. Archiv für physikalische Medizin Band 2, Heft 2. Dessauer: die Frage der Funkenlänge. Röntgenologisches Hilfsbuch, Kapitel 7, Würzburg, A. Stuber).

Es bringt im Gegenteil die Erhöhung der Funkenlänge über das mögliche Maß hinaus unter Umständen sehr erhebliche Nachteile, eine Verschlechterung der Entladungskurve, eine zu große Schließungsinduktion. Diese Tatsache zwang ja auch die Konstrukteure von Induktoren großer Funkenlänge, insbesondere die Einführung des Wehnelt-Unterbrechers mit seiner starken Schließungsinduktion, ein besonderes Aushilfsmittel zur Reduktion der Funkenlänge und Schließungsinduktion anzuwenden. Dieses Aushilfsmittel, zu dem ursprünglich Boas die Anregung gab, ist unter dem Namen der Walter-Schaltung (79) bekannt.

(Vergleiche die Ausführungen Abschnitt B über Induktoren.)

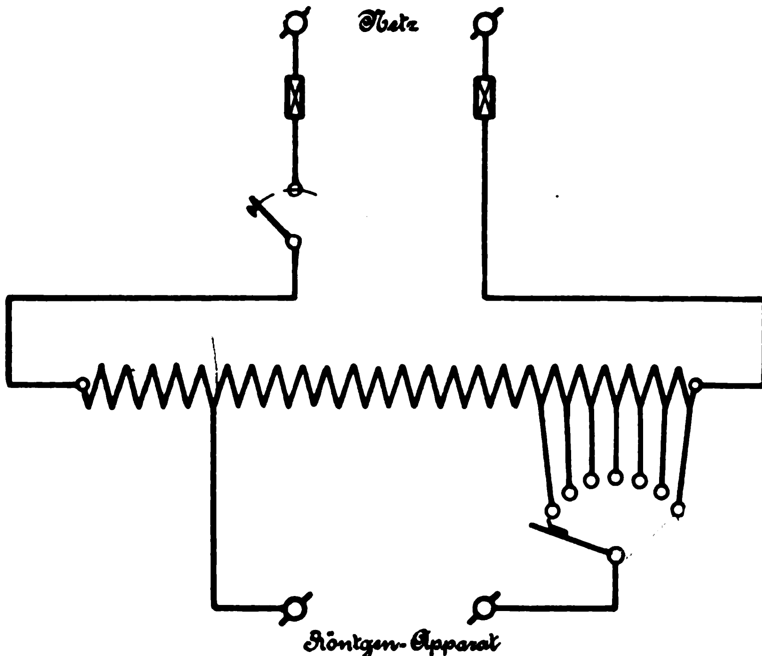
Für die Regulierung der Intensität der Entladungen kommen wieder zwei Wege, die Spannungs- und die Widerstandsregulierung, in Frage. Bei Wahl der Betriebsspannung sind folgende Erwägungen ausschlaggebend. 99. Forts. Die Regulierung durch Änderung d. Betriebsspannung. Der Abzweigwiderstand.

Die Elektrolyt-Unterbrecher (nach Wehnelt etc.) geben ihre überlegenste Leistung bei Spannungen von 60—150 Volt. Bei diesen Spannungen versagen sie nicht leicht, arbeiten gleichmäßig und exakt und ermöglichen die Erreichung großer Frequenzen bei ver-

hältnismäßiger Rationalität. Auch sind sie bei diesen Spannungen am leichtesten durch die Regulierung zu beeinflussen.

Dagegen nimmt, wie wir früher (74 unter 2., ferner 65) sahen, die Schließungsinduktion mit der Betriebsspannung zu.

Bei Apparaten, deren Induktoren keine große sekundäre Funkenlänge besitzen,*) kann bis zu 150 Volt Betriebsspannung die Einrichtung ganz gut ohne Reduktion der Voltzahl betrieben werden, ohne daß man die Schließungsinduktion allzusehr zu fürchten hätte. Dagegen ist bei Spannungen von mehr wie 150 Volt die Benutzung einer Vorrichtung zur Reduktion der Betriebsspannung notwendig.



Figur 43.

Ein langer Widerstandsdraht von ca. 20 Ohm sei mit seinen Enden an die Pole einer Starkstromleitung von 220 Volt angeschlossen. (Fig. 43.)

*) Also entweder geringe sekundäre Windungszahl (Dessauer) oder vermehrte primäre Windungszahl (Walter).

Es fließt infolge der Spannung ein Strom von $\frac{220}{20} = 11$ Ampère durch den Draht. Die Potentiale der Endpunkte des Drahtes haben die Differenz 220. Punkte des Drahtes, die zwischen den Endpunkten liegen, haben geringere Potentialunterschiede gegenüber den beiden Endpunkten. So wird ein Punkt, der gerade in der Mitte des langen Drahtes liegt, gegen jeden der beiden Endpunkte eine Potentialdifferenz von 110 haben. Bietet man der Elektrizität einen Weg zwischen dem Mittelpunkt und einem Ende, so entsteht ein Strom mit der Spannung 110 Volt. Die beiden Stromkreise sind parallel (vergl. 8) geschaltet.

Liegt in dem zweiten Stromkreise ein Röntgenapparat, so arbeitet er mit einer Spannung von 110 Volt.

Wird der Strom einer bestimmten Spannung durch einen Widerstand geleitet, so kann man Stromkreise mit Teilen dieser Spannungen betreiben, indem man sie parallel zu Teilen des Widerstandes schaltet.

Die Spannung des Parallelkreises entspricht der Größe des Widerstandsteiles, dem er parallel geschaltet ist. In dem obengenannten Falle war der Abzweigstromkreis dem halben Widerstande parallel geschaltet und die Spannung infolgedessen $^1/_2$ der Gesamtspannung gleich 110 Volt. Wäre der Abzweig zu $^2/_3$ des gesamten Widerstandes parallel gelegt worden, so wäre die Betriebsspannung 146,6 Volt gewesen. Ist durch eine Regulierung die Möglichkeit gegeben, den Abzweig einem beliebigen Teile des Widerstandes parallel zu legen, so hat man ein einfaches Mittel, die Betriebsspannung zu regulieren.

Diese Widerstandsapparate heißen Voltabschalter, Voltregulatoren oder Abzweigwiderstände. Sie können regulierbar gebaut werden.

Die Benutzung solcher Apparate erfordert nach den Vorschriften des Verbandes natürlich eine doppelpolige Sicherung, einen doppelpoligen Ausschalter. Der Stromverbrauch des Apparates wächst, denn der fortwährend durch den Wiederstandsdraht fließende Strom geht verloren. Das fällt nicht eben schwer in's Gewicht, wie ja überhaupt der Stromverbrauch der Röntgenanlagen im allgemeinen unwesentlich ist.

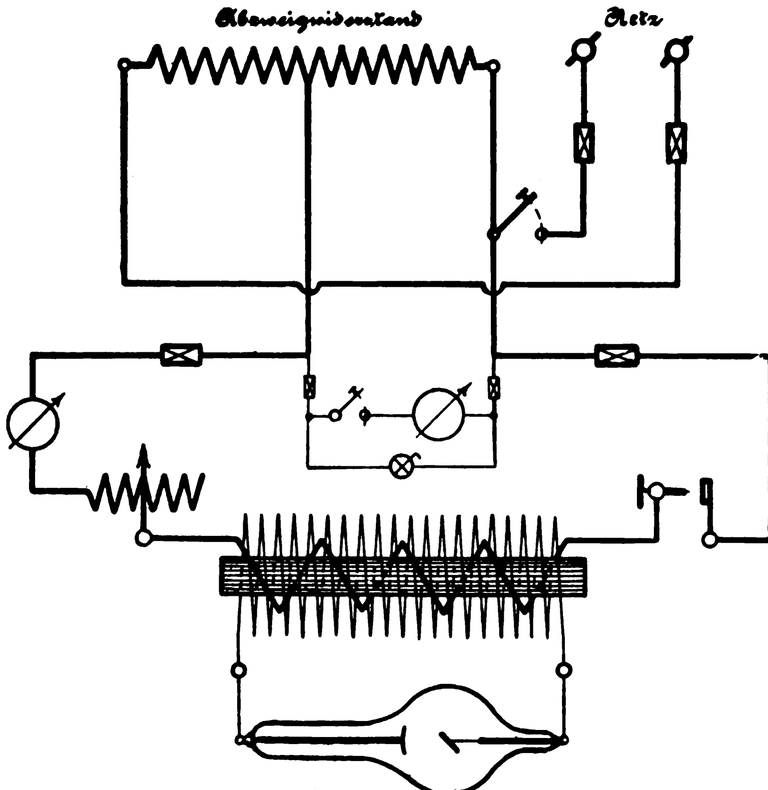
Durch den Abzweigwiderstand die Spannung, dadurch die Stromstärke und die Intensität der Einzelentladung zu variieren, ist ein durchaus gangbarer und empfehlenswerter Weg.

Ist die Primärspannung nicht zu hoch, also 60—150 Volt, so kann von der Benutzung des Abzweigwiderstandes abgesehen werden. Ein guter Regulierwiderstand, der mit dem Unterbrecher und dem Induktor „abgestimmt“ (vergl. 111) ist, genügt hier, um die Leistung in den weitesten Grenzen zu verändern, vorausgesetzt, daß der Unterbrecher im ganzen Regulierbereich sicher arbeitet. Damit er dies tut, muß er entsprechend konstruiert sein, aber auch

100. Forts. und der Ampèrezahl.

der Widerstand muß hinsichtlich seines Selbstinduktionscoëfficienten übereinstimmen. Je geringer der Strombetrag ist, den der Elektrolyt-Unterbrecher erhält, desto größer muß die Selbstinduktion sein, damit er nicht versagt. (Siehe am Schluß dieses Kapitels: Abstimmung). Deshalb muß bei solchen Widerständen jedem Betrage an Ohm'schem Widerstand auch eine gewisse Erhöhung der Selbstinduktion durch den Widerstand entsprechen.

Damit gelingt es dann leicht und einfach, für jede Röhre die Belastung ausfindig zu machen, die ihr nützlich ist, bei der sie am wenigsten von der Schließungsinduktion leidet und bei entsprechender Frequenz eine helle und deutliche „weiche" Durchleuchtung gibt.

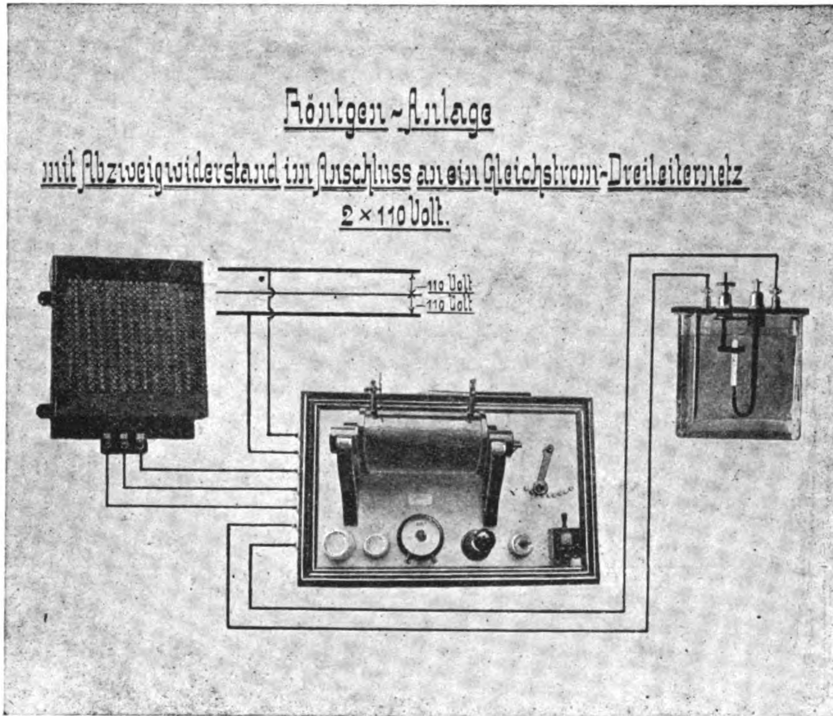


Figur 44a.

100a. Forts. Die Regulierung der Frequenz.

Die Unterbrechungszahl beim Betriebe mit dem Wehnelt-Unterbrecher hängt auch von dessen Einstellung ab (s. 85). Gemäß 89c ist die Unterbrechungszahl in einem gewissen Bereiche, der

der Eigenart des Unterbrechers entspricht, am günstigsten. Deshalb ist die Regulierung der Unterbrechungszahl durch die Unterbrecher selbst weniger wichtig. Bei Verstärkung des Stromes durch Ausschalten eines Teiles des Widerstandes wächst von selbst auch die Frequenz des Elektrolyt-Unterbrechers.



Figur 44b.

Ausschlaggebend für die Beurteilung der Regulierbarkeit der Apparate, ein Moment, das nicht weniger wichtig ist, wie die Leistung, ist einzig die Röntgenröhre, die Beobachtung ihres Lichtes. Man überzeugt sich, ob eine jede für das Röntgenverfahren noch brauchbare Röhre, sie sei weich oder hart, mit dem Apparate in einem ihr zuträglichen Maße ohne starke Störung durch Schließungsinduktion belastet werden kann, so daß sie ein ruhiges, hinsichtlich der Helligkeit in weiten Grenzen regulierbares Licht gibt. Dabei darf der Regulierapparat sich nicht zu stark erhitzen und die Betriebsfähigkeit nicht leiden. 101. Kriterium der Regulierbarkeit.

Der Wechselstrombetrieb.

102. Die allgemeine Anordnung und ihre Modifikationen. Forts. III. Wechselstrom.

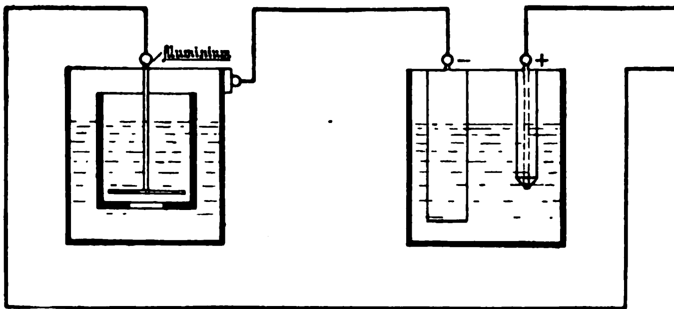
Besondere Berücksichtigung verlangt die Frage des Wechselstrombetriebes bei Röntgenanlagen und die Regulierung derartiger Stationen.

Für die Lösung sind in Abschnitt A (67 ff.) drei Wege angegeben worden, von denen zwei hier Berücksichtigung finden, während der dritte im nächstfolgenden Abschnitt behandelt wird.

103. Drosselwirkung des Elektrolytischen Unterbrechers. Ventilzelle.

Der Elektrolyt - Unterbrecher schneidet aus dem Wechselstromverlauf gleichgerichtete Phasen heraus, läßt die entgegengesetzt gerichteten nur unterdrückt passieren. Der Strom fließt also leichter durch den Kreis des Instrumentariums, wenn er in der Richtung von der kleinen zur großen Elektrode geht, also wenn die Platinspitze die positive, die Bleiplatte die negative Elektrode des Unterbrechers ist. In der entgegengesetzten Richtung kommt nur schwacher Stromfluß zu stande. Darum kann der Wehnelt den direkten Anschluß an Wechselstrom oder 2 Leitungen des Drehstromes gestatten, weil er überwiegend nur die Hälfte jeder Periode passieren läßt und diese in ihrem Verlaufe wie einen Gleichstrom unterbricht.

Eine wesentliche Verbesserung dieser Betriebsart wird durch Vorschaltung von sogenannten Drosselzellen (nach Grätz) in der Anordnung von Goetze bewirkt. Tauchen in einem geeigneten Elektrolyten zwei Elektroden, von denen die eine indifferent, (Eisen in der Regel) die andere aber von Alumiuium ist, so überzieht sich diese, sobald sie Eintrittsstelle des Stromes (Anode) ist, mit einer

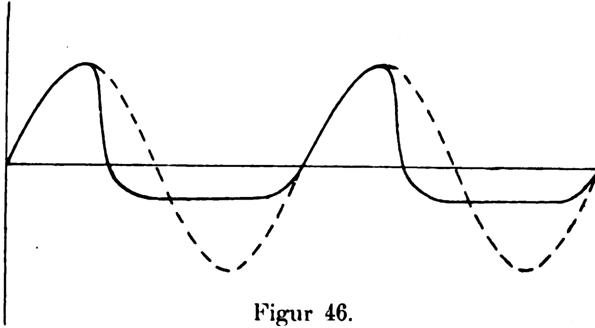


Figur 45.

nichtleitenden Schicht von Aluminiumhydroxyd. Nur der andere Impuls tritt praktisch ungeschwächt hindurch und wird vom Unterbrecher in seinem Verlaufe ein oder mehrere Male unterbrochen.

Es entsteht sodann das Kurvenbild Fig. 46.

Das gleiche Ziel erstrebt, wie ebenfalls schon im Abschnitt A ausgeführt, der Boas'schen Synchron-Quecksilberunterbrecher. Er beruht auf dem gleichen Prinzip wie der im Abschnitte C (83) ausführ- 104. Der Boas-Synchron-Unterbrecher.



Figur 46.

lich dargestellte Quecksilber-Turbinenunterbrecher mit der einzigen Abänderung, daß der Stromanstieg einer Richtung eingeschaltet und die Amplitude unterbrochen wird, ganz wie es der Elektrolytunterbrecher von selbst tut.

Dieses Ziel wird durch Benutzung eines sogenannten Synchronmotors erreicht, d. h. eines solchen Wechselstrommotors, der vermöge seiner Konstruktion bei jeder vollen Periode eine Umdrehung macht. Ein solcher Wechselstrom-Synchronmotor treibt den Quecksilberstrahl während einer Wechselstromperiode einmal im Kreise, sodaß jeder Viertelsperiode ein Viertel der Umdrehung entspricht. Der Kontaktzahn des Turbinunterbrechers ist so eingestellt, daß der Quecksilberstrahl ihn gerade beim ersten Anstieg des Stromes bis zur Amplitude trifft. So erreicht Boas bei jeder vollen Periode einen Stromimpuls in der Primärspule, den er im Maximum unterbricht, und da die eingeschalteten Stromwellenteile nur in einer Richtung fließen, erhält er eine durchaus günstige Form der primären Strombewegung.

Beide Methoden, vom Wechselstrom durch Herausschneiden gleicher Kurventeile mit Hilfe des Boas-Unterbrechers oder des Elektrolytunterbrechers (mit vorgeschalteter Monopolarzelle) Gleichstrom zu entnehmen, sind brauchbar und haben vielfache Anwendung gefunden. Freilich kann nicht verschwiegen werden, daß ihnen auch Nachteile anhaften, die teilweise in den allgemeinen Eigenschaften der verwendeten Unterbrechergattungen, teilweise in dem Wechselstromcharakter ihre Ursache haben. Vor allen Dingen ist der Synchronmotor kein völlig zuverlässiger Apparat, läuft nicht von selbst an, sondern muß bei der Einschaltung durch 105. Vorteile u. Nachteile.

einen Handantrieb auf die Tourenzahl, die der Periodenzahl gleich ist, gebracht werden, und zeigt dann doch wieder Neigung „aus dem Takt zu fallen.“

Dann muß die Stromschlußstelle und die Unterbrechungsstelle sehr sorgsam eingestellt werden, damit das Induktorium nicht Impulse verkehrter Richtung empfängt. Das Andrehen des Motors ist oft lästig und erfordert recht viel Übung. Durch irgend eine Zufälligkeit — ein Hindernis im Unterbrecher z. B. — mag nun einen Moment die Arbeit, die der Motor bei seiner Umdrehung zu leisten hat, größer werden, die Belastung also schwanken, steigen. Der Motor wird ein wenig gehemmt, die Phase eilt ihm vor, die Unterbrechung des Stromschlusses erfolgt an falscher Stelle, der Unterbrecher ist „aus dem Takt“.

Er kommt von selbst dann auch nicht wieder zum Synchronismus, sondern muß, nach abgestelltem Induktorstrom, von neuem von Hand angetrieben werden.

Dagegen hat der Elektrolyt-Unterbrecher den Vorzug der Einfachheit, aber den Nachteil, daß beim verkehrten Durchgang des Stromes dieser nicht vollständig unterdrückt wird, und dabei das Platin der Anode zersetzt. Der direkte Anschluß eines Röntgenapparates an Wechselstrom unter Zuhilfenahme des Wehnelt-Unterbrechers bedingt also Platinverbrauch.

Die Monopolarzellen reduzieren die Platinaufnutzung des Elektrolytunterbrechers bei Wechselstrombetrieb auf ein sehr geringes Maß. Indessen bedürfen sie selbst einiger Aufmerksamkeit. Die elektrolytische Flüssigkeit der Graetz'schen Zelle muß von Zeit zu Zeit erneuert werden, die Aluminiumplatte wird korrodiert und muß von Zeit zu Zeit wieder blank geschliffen werden.

Um die geringe Abnutzung des Platins im elektrolytischen Unterbrecher automatisch auszugleichen und eine Betriebsstörung durch sie zu verhindern, hat Verfasser die elektrolytischen Unterbrecher mit automatischer Regulierung d. h. automatischem Nachschub der Platinanode eingeführt.

Der Elektrolyt-Unterbrecher setzt sich sofort beim Einschalten selbst in Tätigkeit und bedarf, wenn er sich automatisch reguliert, fast gar keiner Aufmerksamkeit oder Bedienung. Dagegen sind die Stromverhältnisse, die er schafft, bei Wechselstrom, nicht so ideal wie beim Betriebe nach Boas.

Freilich wird auch hier der Anstieg des Stromes bei der Einschaltung flacher, die Schließungsinduktion geringer sein, wie bei Gleichstrom. Indessen erhält der Induktor zwischen je zwei regulären Stromdurchgängen auch solche entgegengesetzter, schädlicher Richtung, weil der elektrolytische Unterbrecher eben den

verkehrten Impuls nicht ganz unterdrückt. So werden denn die Röhren hier nicht von reinen intermittierenden Gleichstrom-Impulsen durchflossen, sondern es entstehen auch schädigende, störende Zwischenströme verkehrter Richtung, die sich in der Aufnahme durch Bildschleier bemerkbar machen.

Die Einführung des Wechselstrombetriebs mit Elektrolytunterbrecher in die Röntgentechnik hat historisch zu eigentümlichen Beobachtungen und zu ziemlich heftigen Streitigkeiten geführt. Man wußte anfänglich nicht, daß die sichere Funktion bei dieser Betriebsart vom Speisetransformator (67) stark abhängig ist. Nun zeigte es sich, daß von einer Anzahl gleicher in verschiedenen Städten ausgeführter Wechselstrom-Röntgenanlagen ein Teil sehr gute, ein Teil minder gute Resultate zeitigt, ohne daß es anfänglich gelang, der Ursache endgiltig nahe zu kommen. Die minder guten Erfahrungen, die sich hauptsächlich in einem konstanten Bildschleier auf den schwierigeren Aufnahmen — der bis zur Unmöglichkeit solcher in extremen Fällen führen kann — und größerer Abnutzung der Röhren äußerte, führte vereinzelt zu ganz hinfälligen und ungerechten Angriffen auf einzelne Fabrikate, die um so rücksichtsloser waren, je weniger ihre Urheber die Verhältnisse zu begreifen und zu beurteilen in der Lage waren. *) 106. Historische Notiz zum Betrieb mit Wechselstrom und Elektrolytunterbrecher.

Tatsächlich dürfte der auffallende Unterschied einer großen Anzahl trefflich und einer kleinen minder gut funktionierender gleicher Anlagen bei Wechselstrom in dem Wechselstrom selbst und in den zuführenden Apparaten gelegen sein.

Die Wechselströme werden in den Zentralen bei sehr hohen Spannungen (3000 bis 10000 Volt) übergeführt und Unterstationen zugeleitet (67). Bevor sie zu den Verbrauchsstellen gelangen, werden sie in den Unterstationen auf die niedere Verbrauchsspannung von ca. 120 Volt heruntertransformiert. Die Transformatoren dieser Stationen beruhen auf ganz genau denselben Induktionsgesetzen und Überlegungen, wie wir sie im ersten Teile kennen lernten. Primärspule ist eine solche mit vielen Windungen dünnen Drahtes zur Aufnahme des hochgespannten Wechselstromes, Sekundärspule eine solche mit weniger Windungen stärkeren Drahtes, in welcher der Lichtstrom entsteht.

Ist nun an einen solchen Transformator ein Röntgenapparat mit Elektrolyt-Unterbrecher angeschlossen, so spielt unter Umständen auch die Selbstinduktion und Phasenverschiebung dieses Wechselstromtransformators eine Rolle. Das rhythmische Schließen und Öffnen des Stromes im Röntgenapparat bringt Induktionen im Wechselstromtransformator hervor, in dem sich Schwingungen ausbilden können, die den Verlauf der Vorgänge auf ungünstige Weise beeinflussen.

---

*) Vergleiche M. M. Wochenschrift 1902, 51. 1903, Heft 2.

Die Untersuchung der Verhältnisse in den letzten Jahren hat diese Auffassung bestätigt. Jedenfalls ist die Gefahr solcher Störungen um so geringer, je kleiner der Strombedarf des Röntgenapparates im Verhältnis zum gesamten von dem Transformator zu liefernden Strombedarfe, je größer dieser letztere also selber ist

107. Wechselstrombetrieb unter Einschaltung eines Wechselstrom-Gleichstrom-Umformers.

Will man vor diesen Eventualitäten sicher sein, so schützt die Benutzung eines Wechselstrom-Gleichstrom-Umformers. Der Wechselstrom oder Drehstrom wird, statt zum Betriebe des Instrumentariums, zum Antrieb eines kräftigen Motors von ca. 2—3 Pferdestärken benutzt, der seinerseits eine Dynamomaschine in Tätigkeit setzt, die Gleichstrom liefert. Man hat also eine eigene kleine Gleichstromzentrale. Es verlohnt sich aber manchmal, wenigstens versuchsweise, Wechselstrombetrieb einzuführen. Die wesentliche Ausgabe für den Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer ist nachträglich immer noch möglich, umsomehr, als ein richtig gebautes Wechselstrom-Instrumentarium sich auch an Gleichstrom anschließen und mit Erfolg betreiben läßt.

Ein solcher Umformerbetrieb gibt auch nur dann wirklich brauchbare Resultate, wenn die Gleichstrommaschine den Anforderungen des Induktoriums und den schwingenden Entnahmen des Unterbrechers gewachsen ist. Das ist nicht immer der Fall und man hat oft Gelegenheit, das völlige oder teilweise Versagen von Röntgenanlagen mit Umformern zu konstatieren.

Es ist ein Irrtum, wenn man annimmt, jede Gleichstromdynamomaschine von hinreichender Wattleistung sei zum Betriebe des Röntgeninstrumentariums geeignet. Das ist nicht der Fall. Der Röntgenapparat erfordert entweder wesentlich zu große Dynamomaschinen oder die Benutzung ganz besonderer Typen, wie sie vom elektrotechnischen Laboratorium (jetzt Vereinigte elektrotechnische Institute Frankfurt—Aschaffenburg) zuerst eingeführt worden sind. Dann allerdings ist der Betrieb mit elektrolytischem Unterbrecher und Wechselstrom - Gleichstromumformer bei 60—120 V Gleichstromspannung wirklich ideal. (Vergl. Compend. pag. 151).

Bei Betrieb einer Röntgenanlage mit Wechselstrom ist also zu beachten:

108. Resumee über den Wechselstrombetrieb.

Die Prüfung der Wechselstromleitung auf ihre für die Röntgenstation für Elektrolytbetrieb geeignete Beschaffenheit. Bei Synchronunterbrechern nach Boas braucht man keine Rücksicht hierauf zu nehmen. Des weiteren die für den Wechselstrom geeignete Konstruktion des Induktoriums. Ist die „magnetische Trägheit“, also die Eisenmenge und Windungszahl sehr groß, so eignet es sich nicht besonders zu direktem Wechselstrom-Anschluß.

Man muß sich beim direkten Wechselstrombetrieb ferner von vornherein klar machen, daß man die Frequenz nicht beliebig regulieren kann. Denn diese ist ja an die Periodenzahl des Wechselstromes gebunden.

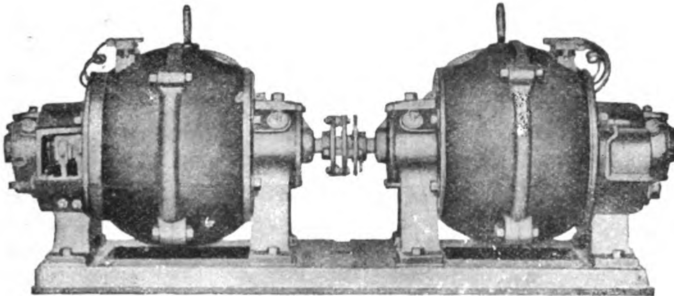
Außer dem Stromverbrauch und der Abnutzung der Röhren hat man mit einem Platinverbrauch des Elektrolyt-Unterbrechers und dem Aluminiumverbrauch des Gleichrichters zu rechnen, wenn dieser zur Benutzung kommt.

Gegen die nicht vollständig durch den Elektrolyt-Unterbrecher abgehaltenen Induktionsstöße umgekehrter Richtung ist die Röhre möglichst zu schützen — durch Wahl eines Induktors von nicht zu großer sekundärer Windungszahl und Benutzung der Ventilröhren (141), die wir später kennen lernen.

Dagegen hat man eine geringere schädliche Schließungsinduktion.

Die Röhrenabnutzung durch Schließungsinduktion ist also nicht beträchtlich, wenn die übrigen Vorsichtsmaßregeln befolgt werden.

Endlich sind Röntgenapparate mit direktem Wechselstromanschluß nicht so regulierfähig. Es ergibt sich dies ohne weiteres daraus, daß beim Stromschluß die Stärke ganz allmählich auf den zur Unterbrechung notwendigen Betrag anwächst, und daß die Impedanz dabei eine Rolle spielt. Wird der Widerstand zur Regulierung groß gewählt, so kommt bald die Stufe, wo die zur Unterbrechung uotwendige Stromstärke überhaupt nicht mehr erreicht wird.



Figur 47 a.

Alle diese Umstände sind jedoch nicht so ausschlaggebend, daß der erfolgreiche Betrieb einer Röntgenanlage mit Wechselstrom dadurch prinzipiell unmöglich gemacht würde. Es ist richtig, beim Gleichstrombetrieb ist man von diesen Momenten unab-

hängig, hat seine Anlagen mehr in der Hand. Aber auch mit Wechselstrom können Anlagen, die nicht allzusehr angestrengt werden, ganz ausgezeichnete Resultate liefern, können bei etwas verlängerter Expositionszeit ebenso gute Bilder geben. wie Gleichstromapparate.

Die Ausgabe für einen Wechselstrom - Gleichstrom - Umformer ist immerhin ca. 1200—1500 Mk., wenn man ihn ausreichend wählt.

109. Der Umformer und seine Bedienung.

Der Wechselstrom-Gleichstromumformer erfordert zu seiner Bedienung eine eigene kleine Schalttafel mit folgenden Teilen:

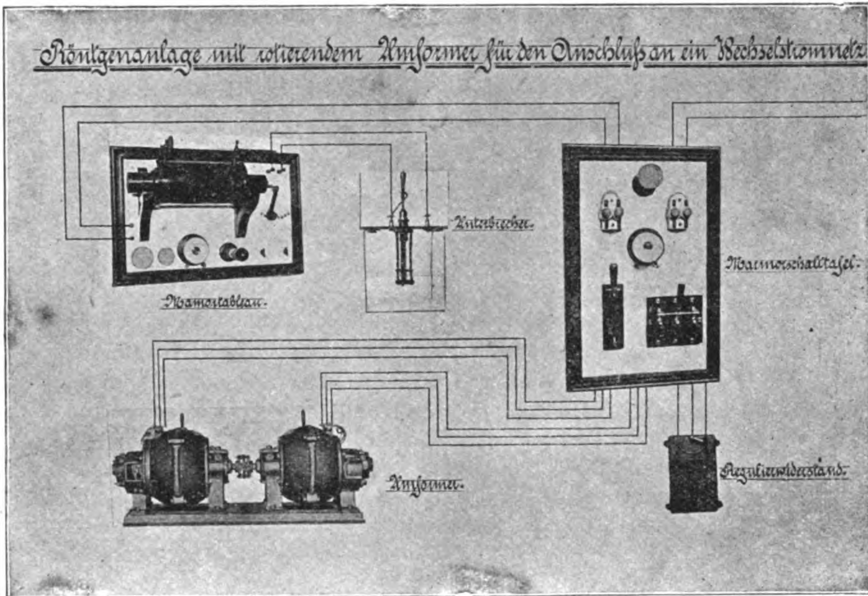
Doppelpolige Sicherung für den Wechselstromkreis, Hauptausschalter bezw. Anlasser für den Wechselstrommotor, eventuell Wechselstromampèremeter. Für den Gleichstromkreis ist notwendig: Haupteinschalter, Nebenschlußregulator für die Dynamo, Gleichstromvoltmeter und doppelpolige Sicherung. Drehstrommotore sind im allgemeinen zweckmäßiger, leistungsfähiger und billiger als Wechselstrommotore.

Für die Anschlüsse von Umformern bestehen in den einzelnen Centralen Vorschriften. Diese Vorschriften gestatten im allgemeinen bis zur Leistung von 2 oder 3 PS. die Verwendung einfacher Kurzschlußanker-Motore. Bei größeren Maschinen (für den Röntgenbetrieb mit Elektrolytunterbrecher, kommen durchschnittlich 2—3 PS. in Frage) müssen Schleifringankermotore benutzt werden. Der Umformer bedarf nur wenig Wartung. Er muß ganz sicher fundamentiert und möglichst tief aufgestellt sein, am besten in einem trocknen Keller, gegen Staub und Feuchtigkeit geschützt. Die Schalttafel dagegen zu seiner Bedienung findet möglichst dicht beim Röntgenapparat Aufstellung. Man vergißt dann auch nicht so leicht nach Beendigung der Untersuchung, den Umformer abzustellen. Allmonatlich 1—2 Mal sind an dem Umformer die Lager, der Kollektor und die Bürsten nachzusehen. Das kann man von einem Monteur besorgen lassen. Der Hauptfehler, vor dem gewarnt werden muß, bleibt aber der, daß der Maschinensatz oft zu klein gewählt wird.

110. Resumée über die Abhängigkeit der Stromquelle und der Unterbrecher voneinander.

Resümieren wir die Winke, die sich für Stromquelle und Unterbrecher beim Betriebe der Röntgenanlage ergeben, so zeigt sich die Überlegenheit des Elektrolyt-Unterbrechers entsprechender Konstruktionen für alle Arten von Anschlußstrom durch seine Sauberkeit, Einfachheit, Zuverlässigkeit und seine insbesondere bei Gleichstromanschluß unerreichte Leistung. Ein guter Elektrolyt-Unterbrecher unterbricht Gleichstrom von 60 bis 220 Volt Spannung, wenn freilich im Interesse der Regulierung bei Spannungen über 150 Volt die Benutzung eines die Spannung reduzierenden Apparates, eines Abzweigswiderstandes, notwendig erscheint (vergl. d. Kap. 99).

Röntgenanlagen mit nicht allzu forciertem Betriebe können an Wechselstrom mit gutem Resultate angeschlossen werden, wenn nicht besondere Umstände in der Zuleitung mitspielen. Hier wäre theoretisch der Boas-Synchron-Betrieb sogar dem Gleichstrombetrieb vorzuziehen, wenn nicht die durch ihn verursachte Umständlichkeit dem Elektrolyt-Unterbrecher den Vorzug sicherte.



Figur 47 b.

Will man die Expositionszeit für gewisse Zwecke besonders abkürzen oder sich die größere Regulierfähigkeit, die größere Ausnutzungsfähigkeit des Gleichstrombetriebes zu Nutze machen, so kommt der Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer zur Anwendung. Ihn wählt man nicht zu klein und informiert sich, daß die Gleichstromdynamo gut zum Röntgen-Apparate paßt — nicht jede Dynamo von gleicher Leistung ist hierfür durch ihre Eisen- und Kupferdimensionierung in gleichem Maße geeignet.

Bei Batteriebetrieb ist der Platin-Unterbrecher in sorgfältiger Konstruktion für diejenigen Röntgenapparate sehr empfehlenswert, deren Induktorien keine allzu großen primären Stromstärken erheischen. Der Platinunterbrecher genügt den Forderungen (siehe 32) an möglichste Differenz zwischen Schließungs- und Öffnungs-

induktion und — in geeigneter Modifikation — an möglichste Frequenz gut. Er ist einfach, sauber und billig.

Hat man Instrumentarien, die, mit Batterien betrieben, große magnetisierende Ströme verlangen, so wird man notgedrungen zu den Quecksilberunterbrechern der verschiedenen Formen greifen müssen, — Apparate mit Batteriebetrieb gewähren nie ganz die Helligkeit der Durchleuchtung, wie solche mit Starkstrom-Anschluß. Dagegen stehen sie hinsichtlich der Schärfe und Güte der Aufnahme bei etwas erhöhter Expositionszeit den mit Lichtstrom betriebenen Modellen nicht nach.

110. C. Resümee. Forts. Der Einschalter der Röntgenanlage mit Abzweigwiderstand soll vor den Voltabschalter gelegt werden, damit der ganze Strom, nicht blos der durch die Verbrauchsleitung gehende Teil, ausgeschaltet ist.

Sind die zum Betriebe zur Verfügung stehenden Spannungen noch höher als 220 Volt, so eignen sie sich zum direkten Anschluß einer Röntgeneinrichtung durchaus nicht mehr, schon deswegen, weil der elektrolytische Unterbrecher solche Spannungen nicht mehr rein und störungsfrei unterbricht.

Die Benutzung eines Abzweigwiderstandes wird mit der größeren Höhe der Spannung immer weniger rationell. Denn der Arbeitsstromkreis muß einem immer kleineren Teile des Gesamtwiderstandes parallel geschaltet werden, um die gewünschte niedere Betriebsspannung zu erreichen, der Stromverlust wird immer größer. Darum empfiehlt sich bei Anlagen von über 250 Volt jedenfalls die Benutzung eines Gleichstrom-Gleichstrom-Umformers, d. h. eines Motors für die gegebene hohe Spannung, der eine Dynamo zur Erzeugung der gewünschten niedrigeren Spannung betreibt. Über diese Umformer gilt dasselbe, was (108 und 109) über Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer gesagt wurde.

Bei Wechselstrom-Anschlußbetrieb ist die Regulierung der Apparate, wie schon ausgeführt, sehr beschränkt. Die Unterbrechungszahl ist gegeben durch die Periodenzahl des Wechselstromes, die Regulierung der Intensität der Einzelentladung kann nicht in so hohem Grade, aber dennoch immerhin genügend betätigt werden.

111. Abstimmung der Apparate. Unter Abstimmung des Röntgeninstrumentariums verstehen wir das konstruktiv-harmonische Verhältnis zwischen den einzelnen Teilen. Dieses Erfordernis wird in der Röntgenologie viel zu wenig beachtet, scheint tatsächlich einer großen Anzahl von Autoren und einer noch größeren Anzahl von Praktikern nicht bekannt zu sein. (Vergl. d. Verf. Röntgenologische Hiltsbuch Kap. 1, Seite 20 ff. „Der Gegenwärtige Stand des Röntgenverfahrens“, wo wohl die erste eingehende Erörterung dieser Frage gegeben wurde.)

Es gibt tatsächlich viele Röntgeninstrumentarien, die aus guten Einzelteilen bestehen, einen guten Unterbrecher, einen guten Induktor, gute Hilfsapparate und Reguliervorrichtungen besitzen, aber dennoch sehr schlecht funktionieren, weil die Einzelteile nicht miteinander abgestimmt sind. Die ganze Art der Kataloganbietungen der meisten Röntgenapparatfabriken mit ihren zahlreichen Modellen und Größen verführt zur Zusammenstellung derartig unharmonischer Instrumentarien, die mangelhaft funktionieren müssen.

Um einige deutliche Fälle herauszugreifen: Ein Instrumentarium krankt an mangelhafter Abstimmung, wenn die magnetische Trägheit des Induktors, die Selbstinduktionsverhältnisse von Induktor und Widerstand eine geringe Frequenz bedingen, weil sie nicht sehr rapide zu schwingen vermögen, während der Unterbrecher (z. B. der Wehnelt) einer höheren Frequenz gemäß seiner Konstruktion bedarf. Der eine oder andere Teil des Instrumentariums wird, obzwar selbst vielleicht recht gut, aus der optimen Lage seiner Funktion gedrängt, der Apparat arbeitet minderwertig.

Oder: Das Induktorium bedarf zur Erzeugung eines hinreichenden Feldes einer beträchtlichen Stromstärke von ca. 14 Ampère. Der benutzte Unterbrecher vermag aber nur ca. 6—8 Ampère dauernd sicher zu unterbrechen. Das Instrumentarium ist nicht abgestimmt und das wird sich in einer rapiden Abnutzung des Unterbrechers äußern.

Besonders deutlich macht sich mangelnde Abstimmung häufig beim Betriebe mit Elektrolytunterbrechern bemerkbar. Wie wir (85) gesehen haben, ist es zur Aufrechterhaltung der Tätigkeit des Wehnelt notwendig, daß der Extrastrom die Gasdampfhülle am Anodenstifte durchschlägt. Reguliert man die primäre Stromstärke des Apparates mit Hilfe des Rheostaten schwach, so wird auch der Extrastrom dementsprechend reduziert und es mag sein, daß er nicht mehr hinreicht, die Gasblase vollständig abzuschleudern; dann versagt der Unterbrecher und mit ihm der Apparat, ein Umstand, der oft genug bei Röntgenanlagen bemerkt wird. Schuld trägt mangelhafte Abstimmung des Regulierwiderstandes mit Induktor und Unterbrecher. Der Widerstand (vergl. 100) muß in diesem Falle selbst induktiv gebaut werden (aus vielen in einem Sinne gerichteten Windungen bestehen), damit bei seiner Einschaltung der Extrastrom in ihm verstärkt wird.

Ebensowenig, wie der Konstrukteur einer Dampfmaschine einen beliebigen Kessel, einen beliebigen Cylinder uud einen beliebigen Kolben miteinander vereinigt, vielmehr jeden Teil seiner Maschine mit Rücksicht auf die anderen Teile konstruiert, sie genau zu einander abgleicht, ebensowenig kann im Röntgenverfahren ein

8*

Teil des Instrumentes ohne Rücksicht auf den anderen gewählt werden. Vielmehr hat der Konstrukteur eines Röntgeninstrumentariums nahezu gar keine Freiheit. Ist er durch die Anforderungen, die der praktische Fall, die zur Verfügung stehende Stromquelle, die zu erwartende Belastung des Apparates, die räumliche Anordnuug — stellt, zum Entschluß hinsichtlich der geeignetsten Unterbrechergattung gekommen, so kann er nicht mehr diesen oder jenen Induktor, diese oder jene Reguliervorrichtung wählen. Er kann überhaupt nicht mehr wählen, er hat fast keine Freiheit mehr, sondern es ergibt sich, wie überall in der Technik, für jede Aufgabe eine beste Lösung, zu der man logisch geführt wird, der möglichst nahe zu kommen die Tätigkeit des Konstrukteurs bildet. Deshalb sind Katalogofferten, welche hunderte von Möglichkeiten für jeden Fall vorspiegeln, ein Unding, müssen verschwinden, wie sie überall in der Technik verschwunden sind, sobald ein Gebiet technisch geklärt erschien.

Der Weg, zu einem guten Röntgeninstrumentarium zu gelangen, ist also jedenfalls nie der — und das mögen alle Röntgenologen aus den Erfahrungen zahlreicher Institute lernen — sich aus verschiedenen Katalogen Stücke herauszunehmen und diese nach Gutdünken zu kombinieren; vielmehr soll mit Hilfe eines erfahrenen Röntgentechnikers das Anwendungsgebiet, die Beanspruchung des Instrumentes zuvor nach Möglichkeit festgestellt werden. Dieser hat dann den Apparat als einheitliche Aufgabe aufzufassen und mit Rücksicht auf die zur Verfügung stehenden Mittel zu konstruieren. Jeder Röntgenapparat nahezu kommt in etwas andere Arbeitsverhältnisse, jeder stellt für sich eine eigene, neu aufzufassende und einheitlich zu lösende konstruktive Aufgabe dar.

112. Resonnanz. In der Tat ist der elektrische Teil des Röntgeninstrumentariums, von dem dieses Kapitel handelt, ein einheitliches, ja ein völliges Resonnanz-System. Es gilt, aus dem Starkstrom der Zentrale hochgespannte schwingende Entladungen zu machen. Zunächst wird — durch den Unterbrecher — der primäre Stromfluß selbst rasch schwingend gemacht. Diese Schwingung wird sodann (in der Primärspule) auf ein Magnetfeld übertragen, so daß jetzt die Kraftlinien auf und ab pulsieren, eine Pulsation, die durchaus im Resonnanzverhältnis zur Schwingung des Unterbrechers stehen muß. Das auf- und abwogende Kraftfeld endlich zwingt der Sekundärspule resonnierende Stromwellen auf, die der Röhre zugeführt werden.

In der vollkommenen Abstimmung dieser Organe aufeinander liegt eines der Hauptmomente für die Konstruktion. Von ihr hängt die dauernd gute Leistung des Instrumentariums in hohem Maße ab.

E.

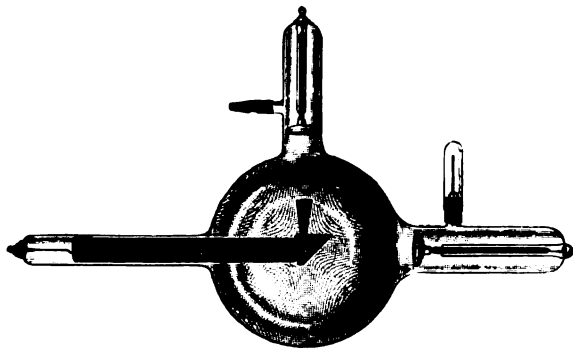
Neuere Methoden zur Erzeugung hochgespannter Entladungen.

Die immer allgemeinere Verbreitung und Anwendung des Wechselstroms in den Zentralen legte dem Konstrukteur den Versuch nahe, ob nicht vielleicht doch eine unmittelbare Verwertung der charakteristischen Wechselstromform für die Zwecke der Röntgenologie möglich sei. Im Gegensatz zum Gleichstrom ist der Wechselstrom ja dadurch gekennzeichnet, daß er an und für sich, also ohne Zuhilfenahme einer Unterbrechungsvorrichtung, ein pulsierendes magnetisches Feld und damit Induktion erzeugt. Leitet man einen Wechselstrom in die primäre Spule des Induktoriums, so entsteht sekundär ebenfalls ein Wechselstrom, der in demselben Maße höher gespannt ist als der primäre, als die Sekundärspule mehr Windungen enthält als die primäre Spule. Es ist also zweifellos möglich, durch Benützung einer Sekundärspule von genügender Windungszahl einen Sekundärstrom zu erhalten, welcher der Forderung 1 (siehe 32) entspricht, welcher also genügende Spannung besitzt, um den Widerstand der Röntgenröhre zu überwinden. Daß er sich nicht zum Röhrenbetriebe benutzen läßt, hat seine Ursache in der Nichterfüllung der Forderung 3 hinsichtlich der Stromform. Wechselströme eignen sich eben nicht zum Betrieb von Röntgenröhren, weil sie die Röhre nicht in gleichem Sinne durchlaufen, nicht immer an der gleichen Stelle austretend Kathodenstrahlen erzeugen und deswegen auch eine röntgenologische Zentralprojektion unmöglich machen. 113. Die Versuche zur Ausnutzung des Wechselstromes.

Früh schon ist man deswegen auf die neuerdings wieder, und jetzt mit mehr Erfolg durchgeführte Idee verfallen, Röhren mit 2 Kathoden herzustellen, die so angeordnet sind, daß sie die Kathodenstrahlung auf einen gemeinschaftlichen Krümmungsmittelpunkt, auf eine gemeinschaftliche Antikathode konzentrieren. Solche Bikathoden-Röntgenröhren wurden gleich anfangs von französischen Forschern angegeben, von Boas in der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft auch mit gutem Erfolg ausgeführt, aber von ihm nicht für Wechselstrom benutzt. 114. Bikathodenröhren.

Eine neue und brauchbare Bikathodenröhre stammt von F. J. Koch. Bei ihr (Fig. 48) ist eine Kathode derart angeordnet, daß Kathodenstrahlung wegen der Verengung des Strahlenraumes nur schwer austreten können; treten sie dennoch aus, so fallen sie auf einen Metallblock, indem Röntgenstrahlen nicht sehr stark entstehen, oder, wenn sie doch auftreten, absorbiert werden. Es arbeitet eine solche Röhre also nur dann wirkungsvoll, wenn die in der Figur seitlich liegende Kathode Austrittspunkt des Stromes ist.

115. Versuch von Koch. Im Jahre 1903 hat Ingenieur Koch (vergl. 68) als Erster, Versuche gemacht, den hochgespannten Wechselstrom mit Hilfe einer sekundären Unterbrechungsvorrichtung für den Röntgenbetrieb zu verwerten. Er ließ durch einen Synchronmotor (siehe dieses Kapitel Abschnitt D, 104) eine isoliert aufgehängte Metallnadel derart zwischen 2 festen metallischen Kontakten rotieren, daß sie jeweils nur eine Periodenhälfte (oder einen Teil einer solchen) einschaltete, den umgekehrten Stromimpuls dagegen ausschaltete. Nur Wellenteile des Wechselstroms und zwar immer solche gleicher Richtung wurden der Röhre zugeführt.



Figur 48.

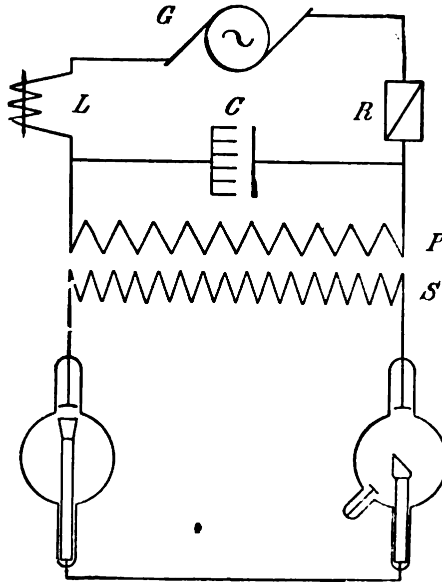
Diese Einrichtungen ließen ohne Zweifel den Betrieb der Röntgenröhre zu. Indessen bewährten sie sich schlecht. Der ausgeschaltete hochgespannte Wechselstromimpuls erzeugte unangenehme luftelektrische Entladungen, welche den Sekundärunterbrecher zerstörten und außerdem machte sich bemerkbar, daß die Leistungen der Röntgenröhren ziemlich gering waren.

Koch ging zur Verbesserung seiner Methode dazu über, den primären Wechselstrom zu deformieren, indem er eine Monopolarzelle (103) parallel zur Primärspule schaltete. (Fig. 49). Dadurch bekam er in der Sekundärspule eine Entladungsform, bei der tatsächlich der Impuls einer Richtung den Impuls der andern Richtung wesentlich überragte. Schaltet man in den sekundären Stromkreis dann noch eine Drosselvorrichtung ein (siehe Kap. 3. B), so arbeitet die Röhre in der Tat mit ziemlich gleichgerichteten Impulsen.

116. Modifikationen der Koch'schen Anordnung. Andere Konstrukteure haben verschiedene Modifikationen dieser Anordnung angegeben. So hat man den sekundären Synchronunterbrecher durch Funkenstrecken und Ventilröhren zu ersetzen gesucht, und den verkehrt laufenden Wechselstromimpuls, der sich wie erwähnt bei der ursprünglichen Koch'schen Anordnung

in Luftentladung störend bemerkbar machte, in Widerstände geleitet und unschädlich gemacht. (Walter.)

Durch Anlegung eines Poles an die Erde will Dr. Max Levy und Dr. Jirotka eine Verbesserung dieser Anordnung erzielt haben, eine Annahme, für die sich indessen physikalisch kaum irgend eine Erklärung finden dürfte.



Figur 49.

Über diese, der neuesten Zeit angehörigen Versuche und Konstruktionen läßt sich heute ein abschließendes Urteil keineswegs fällen. In unsern eignen Versuchsreihen haben wir etwa folgendes festgestellt:

Die Apparate zum direkten Anschluß an Wechselstrom ohne primären Unterbrecher, mit sekundären Unterbrechern oder Ventilvorrichtungen scheinen sich für den Betrieb des diagnostischen Röntgenapparates nicht ebenso gut zu eignen, wie Apparate mit primären Unterbrechern. Die neuen Apparate erzeugen ziemlich strukturlose monotone, detailarme Röntgenbilder, kontrastarme, flaue Durchleuchtungen. Für therapeutischen Betrieb dagegen dürften sie sehr gut geeignet sein. Zur Begründung dieses Urteils sei an die außerordentliche Verschiedenheit der Entladungsform verwiesen, welche diese Apparate gegenüber den Konstruktionen mit primären Unterbrechern auszeichnet. 116 a. Vorteile und Nachteile.

Der Verlauf des Öffnungsinduktionsstoßes, also des Stromimpulses, mit dem die Röhre wirklich arbeitet, mit dem die Aufnahmen gemacht werden, ist außerordentlich kurz, dauert nur ebenso lange, oder doch nicht merklich länger als die primäre Öffnungsphase, als der Zusammensturz der Kraftlinien. Dagegen dauert der Durchgang einer Wechselstromhalbwelle durch die Röhre sehr lange, schätzungsweise wohl einige 100 mal länger, als der Unterbrechungsstoß. Der Unterbrechungsstoß ist im Vergleich zum Wechselstromimpuls wie eine Explosion der Elektrizität durch die Röhre, im Vergleich zu einem langsamen Hindurchfluten. Ein Experimentalbeweis läßt sich, wie nebenbei bemerkt sei, für den großen Zeitunterschied zwischen beiden Stromereignissen, leicht mit Hilfe der Braun'schen Röhre und des rotierenden Spiegels erbringen, wenn man den Elektrolytunterbrecher in Serie mit einem Induktorium in einem Wechselstromkreis schaltet. Jede Halbwelle des Wechselstroms kann dabei mehrmals vom Elektrolytunterbrecher unterbrochen werden, und die Dauer jedes Unterbrechungsvorgangs ist im Vergleich zur Wechselstromhalbwelle außerordentlich kurz.

Nun scheint der Charakter der Röntgenstrahlung von der Art und Zeitdauer des die Röhre passierenden Impulses sehr abhängig zu sein. Je rascher der Impuls die Röhre durcheilt, desto komplexer scheint der Strahlungscharakter zu sein, mit andern Worten, die Strahlung scheint umso mehr aus Strahlen verschiedener Art von größerer und geringerer Durchdringungsfähigkeit zu bestehen, je rapider der Impuls verläuft. Wechselstromwellen von langer Dauer dagegen erzeugen in der Röhre eine sehr homogene Strahlung; die Strahlung hat einen mehr einheitlichen Charakter, eine einheitliche, ziemlich hohe Penetrationskraft. Nun hängt aber die feine Nüancierung des Bildes, die Wiedergabe recht vieler Dichtigkeitsdifferenzen von der Reichhaltigkeit der Strahlung an Strahlen verschiedenen Charakters ab*).

Nach diesen persönlichen Beobachtungen und Auffassungen des Verfassers scheinen die dankenswerten Konstruktionen von Koch und die nach seinem Vorgang von andern angegebenen Modifikationen für die Röntgenapparate mit primärer Unterbrechung in Bezug auf diagnostische Verwendung keinen vollgültigen Ersatz zu bieten. In Bezug auf therapeutische Verwendung dagegen hält der Verfasser die Koch'schen Neuerungen, insbesondere in der nachstehend dargestellten Form, für wertvoll und aussichtsreich.

---

*) Vergleiche auch die Arbeit: „Ziele der Röntgentechnik". Vortrag, gehalten auf dem 1. Röntgenkongreß, April 1905, Berlin.

Die mild verlaufende Wechselstromkurve scheint nämlich die Röntgenröhren sehr zu schonen und die Homogenität der Strahlung ist für die Therapie durchaus günstig.

Die neuesten Gesichtspunkte für die Ausgestaltung des therapeutischen Röntgenapparates seien aus den Arbeiten des Verfassers im nachstehenden wiedergegeben*).

Diesem letzteren Aufsatz sind die nachfolgenden Darstellungen entnommen:

117. Physiologische Grundlagen der Homogenbestrahlung.

Da die Gesichtspunkte, welche zur Wahl dieser Versuchsanordnung und zur Konstruktion der dazu gehörigen Apparate führten, wesentlich physiologische waren, so muß kurz auf diese Grundlage eingegangen werden.

Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Zelle ist noch nicht ganz aufgeklärt. Sicher erscheint, daß ihrem Ansturm pathologische Zellen, protoplasmareiche Zellen zuerst erliegen, vollreife, gesunde Organzellen langen Widerstand entgegensetzen. Es besteht also zweifellos eine Art von Elektivwirkung und es läßt sich für einen großen Bereich von Krankheiten allgemein aussprechen: bei gleichmäßiger Bestrahlung widersteht die normale gesunde (organotypische) Zelle viel länger als die, welche die Krankheit bildet, die pathologische Zelle, die protoplasmareich ist. Und so gelingt es, selbst ohne besondere Vorsichtsmaßregeln zum Schutze der gesunden Haut, durch vorsichtige Bestrahlung oberflächliche Erkrankungen zur Heilung zu bringen, bevor sich auf der gesunden Haut überhaupt eine Andeutung von Reaktion geltend macht.

Dagegen versagt die Therapie mit Röntgenstrahlen zurzeit vollständig, wenn es sich um Krankheitsprozesse handelt, die einigermaßen tief liegen. Der Begriff der Energie der Röntgenstrahlen liegt zurzeit noch nicht fest. Wir bezeichnen im nachfolgenden mit „therapeutischer Energie“ oder „physiologischer Energie“ der X-Strahlen ganz empirisch das Maß ihrer Fähigkeit, auf die Zelle zu wirken. Es scheint so, als ob diese therapeutische Energie im großen und ganzen mit der chemischen Wirksamkeit der Röntgenstrahlen parallel gehe; das heißt also: eine harte Röhre entwickelt fast gar keine therapeutische Energie. Eine sehr weiche Röhre mit wenig penetrierender Strahlung kann unter Umständen schon nach einigen Sekunden Reaktion herbeiführen. Ferner läßt sich zeigen, daß die therapeutische Energie in der Tiefe rapid ab-

*) Vergleiche die oben zitierte Abhandlung: „Ziele der Röntgentechnik“, ferner: „Beiträge zur Bestrahlung tiefliegender Prozesse“, Medizinische Klinik Berlin, Urban und Schwarzenberg 1905, ferner: „eine neue Anwendung der Röntgenstrahlen“, Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft 1907, Heft 3.

nimmt, dergestalt, daß bei Bestrahlung mit Röhren mittlerer Qualität (mittelweich) die Tiefenwirkung schon in 5 mm Tiefe vernachlässigt werden kann. Jedenfalls macht sich auf der Oberfläche wohl hundertmal mehr Wirkung geltend als in 5 mm Tiefe.

An dieser Tatsache mußten nun alle Versuche scheitern, solche Herde dauernd zu beeinflussen, die einigermaßen tief lagen. Das ist bei fast allen fortgeschrittenen Tumoren der Fall, das ist selbstverständlich der Fall bei allen von inneren Organen ausgehenden Neubildungen. Sie können gebessert werden, aber sie verschlimmern sich wieder.

118. Prinzipielle Fehler der Versuchsanordnung.

Der Grund dieses Versagens der Methode liegt in der rapiden Abnahme der „therapeutischen Energie“ in der Tiefe. Um sie bei der gegenwärtigen Versuchsanordnung einem derartig tiefer liegenden Prozeß in genügendem Maße zuzuführen, würde man die Oberfläche enorm schädigen müssen, so daß durch die Bestrahlung viel mehr Unheil angerichtet würde, als sie im günstigsten Falle nützen könnte.

Der Grund für diesen Mißerfolg liegt nach unserem Ermessen in der Versuchsanordnung selbst. Die gegenwärtige Versuchsanordnung benutzt allgemein den Funkeninduktor und Unterbrecher zur Speisung der Röntgenröhren. Diese werden je nach Belieben des einzelnen Experimentators weich, mittelweich oder ziemlich hart angewendet, und es richtet sich danach wesentlich die notwendige Dauer der Bestrahlung.

Ein Weiterkommen in dem Problem ist nur möglich, wenn diese gegenwärtigen Versuchsanordnungen vollkommen verlassen werden. Die Begründung ist folgende:

Inhomogenität.

Liegt die Antikathode als Ausgangszentrum des wesentlichen Teiles der hier in Frage kommenden Strahlung nur etwa 20 cm von der Haut, dann ist es zweifellos, daß die Strahlung in ihrer physiologischen Energie fast nur auf die Oberfläche der Haut wirken kann, denn es kommt, abgesehen von der Quadratabnahme der Strahlung mit wachsender Entfernung, als weiteres Moment in Frage, daß die weichsten Strahlen hier die „energischsten“ sind und daß diese gerade in der obersten Schicht der Haut absorbiert werden. Man kann eine kleine Verbesserung dadurch erzielen, daß man die zu bestrahlende Stelle selbst mit einer dünnen Schicht Staniol oder dergleichen überdeckt und so den allerweichsten Teil der Strahlung absorbiert.

Aber auch mit dieser Anordnung gelangte man nicht wesentlich weiter. Die Wirkung ist dennoch sehr inhomogen, oberflächlich viel größer als in der Tiefe. Entfernt man die Röhren immer mehr und mehr, so nimmt quadratisch damit die notwendige Bestrahlungs-

dauer zu. Die Erfahrung lehrt, daß die Zunahme sogar noch rascher als quadratisch erfolgt. Das findet seinen Grund darin, daß außer der Wirkung der Entfernung auch noch eine Änderung des Strahlencharakters stattfindet. Gerade die weichsten und chemisch wirksamsten Strahlen kommen bei größerer Entfernung überhaupt nicht mehr zur Wirksamkeit.

Damit wird den Bestrebungen zur Tiefenbestrahlung ein Ziel gesetzt. Die Wirkung wird bei einiger Entfernung der Röhren überhaupt zu gering.

Der Kernpunkt des ganzen Problems der Tiefenbestrahlung liegt, wie aus dem Gesagten evident wird, darin, daß das zu beeinflussende Gebiet homogen bestrahlt wird. Erst bei homogener Bestrahlung des gesamten in Frage kommenden Gebietes kann die oben beschriebene Elektivwirkung ungestört zur Geltung kommen. Es muß also eine Versuchsanordnung gefunden werden, die eine homogene Bestrahlung des zu beeinflussenden Gebietes, wenn auch nicht vollkommen, so doch in möglichster Annäherung zuläßt. 119. Forderung der Homogenität.

Entfernen wir einen homogenen, ziemlich lichtdurchlässigen Körper von einer Lichtquelle immer mehr, so kann er in dem Augenblick als homogen absorbierend in seinen Teilen gelten, in dem seine eigene Tiefe im Vergleich zur Gesamtentfernung von der Lichtquelle sehr klein wird, da ja die Absorptionsabnahme in ihm als verschwindend gelten kann. So kann ein Würfel klaren Wassers von 10 cm Seite in einem Abstande von 5 m von einer Lichtquelle als in allen Teilen homogen absorbierend gelten, wobei wir natürlich von jeder Kantenwirkung usw. absehen.

Voraussetzung für diese Überlegung ist, daß keine selektive Absorption stattfindet, etwa analog den harten und weichen Strahlen der Röntgenröhre. Diese wird sich ganz niemals bei der X-Strahlung ausschließen lassen; aber wohl in hinreichender Annäherung, wie sogleich gezeigt werden soll.

Auf das Problem der Bestrahlung übertragen, können wir sagen: Ein Körper kann als homogen durchstrahlt gelten, wenn erstens seine Tiefendistanzen im Vergleich zum Abstand des Gebietes von der Strahlenquelle verschwindend sind; zweitens muß die in Frage kommende Röntgenstrahlung eine möglichst homogene von außerordentlicher Penetration sein, damit auch die Absorption als eine im ganzen Gebiete faktisch homogene bezeichnet werden kann.

Daß letzteres keineswegs ganz außer dem Bereiche der Möglichkeit liegt, kann man experimentell leicht dartun. Bei außergewöhnlich harten Röhren und großer Distanz bekommen wir fast

keine Differenzierung mehr zwischen Knochen und Fleisch. Beide werden ähnlich stark durchdrungen. Bei unserem Problem handelt es sich fast nie um die Durchdringung von Knochen, so daß fast ausschließlich die Durchdringung von Fleisch und Muskelpartien, also von Medien in Frage kommt, die in bezug auf eine solche Strahlung als homogen absorbierend angenommen werden können.

Die letzte Konsequenz einer solchen Versuchsanordnung wäre eine völlige homogene Durchstrahlung des ganzen menschlichen Körpers. Theoretisch ist das keine völlige Unmöglichkeit. Gelingt es, eine hinreichend penetrierende Strahlung zu erzeugen, und dieselbe in genügendem Abstand wirken zu lassen, dann muß eine annähernd homogene Durchstrahlung resultieren.

Setzen wir eine solche homogene Durchstrahlung voraus, dann wäre für die Wirkung der Röntgenstrahlen die Voraussetzung im ganzen menschlichen Körper genau die gleiche wie jetzt an der Oberfläche. An der Oberfläche tritt die elektive Wirkung rein zutage. Es ist eine tausendfältige Erfahrung vorhanden. Die gleichen Voraussetzungen würden in der Tiefe gelten, das heißt, die pathologischen Zellen würden erliegen, bevor die gesunden geschädigt werden. Es würde in einem solchen Falle vom physikalischen Standpunkt aus gegen die Bestrahlung eines tiefliegenden Tumors nichts einzuwenden sein, ebensowenig wie jetzt gegen die Bestrahlung eines solchen, der ganz oberflächlich liegt. Eine andere Frage freilich wäre, was die Natur dazu sagt, ob der menschliche Körper fähig ist, die Zerfallprodukte der durch die Strahlung zerstörten Krankheitsbildung zu resorbieren und zu beseitigen. Auf diese Frage kann hier nicht näher eingegangen werden. Nur so viel möge angedeutet werden, daß es, wenn auch nicht in allen Fällen, so doch in sehr vielen Fällen, sicher ist, daß der Körper diese Arbeit zu leisten vermag.

120. Versuchsanordnung. Die Versuche nun, eine solche aus theoretischen Überlegungen stammende Bestrahlungsanordnung durchzuführen, haben zu einer Disposition geführt, die zunächst äußerlich beschrieben werden soll.

In einem Raume von etwa 20 qm Bodenfläche und 4 bis 5 m Höhe sind an der Decke auf isolierenden Stativen zwei oder mehr Röntgenröhren angeordnet. Diese Röhren sind alle sehr hart und liefern eine Strahlung von ganz abnormer Penetrationsfähigkeit, die zum Beispiel mit der käuflichen Wehneltschen Skala zur Messung der Durchdringungsfähigkeit nicht mehr kontrollierbar ist. In der Nähe des Bodens in diesem Zimmer kann die Strahlung, die übrigens fast ganz Sekundärstrahlung ist, als homogen gelten. Der Leuchtschirm fluoresziert überall gleichmäßig. Die Handdurchleuchtung zeigt fast keine Unterschiede zwischen Fleisch und

Knochen; aufgestellte eiserne Gestelle, deren Boden einige Centimeter über dem Boden des Zimmers liegt, hindern nicht, daß unter dem eisernen Boden der Leuchtschirm gleichfalls durch Sekundärstrahlen fluoresziert. Eine Bewegung des Leuchtschirmes um etwa 1 m aufwärts macht keine deutlich erkennbare Veränderung in seiner Helligkeit sus. Jedenfalls kann in einem solchen Raume für die Tiefe von einigen Centimetern im Körper die „physiologische Energie“ als homogen bezeichnet werden. Wenn auch die oben angedeutete, theoretische Homogenität nicht erreicht wird, so bedeutet ja auch die Annäherung an dieses Ziel, daß eine Menge von Fällen der Bestrahlung zugänglich gemacht werden.

Die Bestrahlungsdauer wird natürlich sehr lang. Am Boden des Zimmers sind einige niedrige Bettstellen angebracht. Die Patienten bleiben, da sie von der Bestrahlung gar nichts zu merken brauchen, Wochen oder Monate unter dem Einfluß der Strahlung. Bei meinen Versuchen habe ich festgestellt, daß fast eine hundertstündige Bestrahlung zur Erreichung einer Holzknechtschen Einheit (Bestrahlungseinheit nach dem Holzknechtschen Chromoradiometer) nötig ist. Da nicht die geringste Belästigung für den Kranken mit der Bestrahlung verbunden ist, so hat die Dauer der Applikation keinen Anstand. Dagegen eröffnet sich die Perspektive, daß Transporte der pathogenen Keime durch die Lymph- oder Blutbahn, die sonst auf die Dauer zur Metastasenbildung führen, dem Einflusse der Strahlen ebenso erliegen, wie die ursprünglichen Tumoren. Des weiteren eröffnet sich die Perspektive der Prophylaxe, besonders bei diagnostisch nicht ganz sicher gestellten oder zur Ausartung geneigten Formen.

Es ist nun klar, daß mit der bekannten bisherigen Anordnung eine solche Bestrahlung nicht aufrecht zu erhalten wäre. Um sie überhaupt zu ermöglichen, müßten wir Röntgenröhren mit vielhundertstündiger Lebensdauer besitzen. Wir müssen sie immer gleichmäßig belasten können, so daß jede Gefahr einer spontanen Erweichung ausgeschlossen wäre. Die größte bis jetzt mit Funkeninduktor beobachtete Lebensdauer einer Röhre, die für Aufnahme, Bestrahlung und Durchleuchtung benutzt wurde, soll etwa 40 Stunden (144 000 Sekunden) betragen haben. Unter Lebensdauer ist damit verstanden die Zeit, während welcher die Röhre wirklich unter Strombelastung stand.

121. Apparatur zur Homogenbestrahlung.

Um nun zu dem dargestellten Ziele zu gelangen, stellte ich zunächst eine ganze Reihe von Untersuchungen darüber an, welcher Zusammenhang zwischen der Erwärmung der Antikathode und der Entladungsform besteht. Schon in meinem Vortrage auf

dem ersten Röntgenkongreß in Berlin 1905*) habe ich darauf hingewiesen, daß die Stromform, also die Entladungskurve, von eminenter Wichtigkeit für die Lebensdauer der Röhre sei. Bei den zeitlich außerordentlich kurzen Impulsen, dem enorm raschen Abklingen der Öffnungsinduktion ist die Lebensdauer der Röhre bei Erzeugung ähnlicher Strahlenmengen sehr kurz, auch wenn man alle verkehrten Impulse (Schließungsinduktion) beseitigt. Solche Entladungen des Funkeninduktors sind für die diagnostischen Verwendungen des Röntgenverfahrens sehr gut und dürfen nicht durch andere Entladungsformen ersetzt werden. Dagegen eignen sie sich nicht besonders gut für therapeutische Anwendung.

Jedenfalls scheint das Verhältnis für unseren Zweck um so günstiger zu werden, je langsamer die Impulse in der Röhre verlaufen, je länger ihre Zeitdauer also ist und je sinusförmiger sie werden.

Durch Transformation von Wechselstrom gelang es mir bei Versuchsanordnungen, die untenstehend näher bezeichnend sind, den Röntgenbetrieb bis zu 250 Stunden bei täglicher, etwa 8- bis 10stündiger, ununterbrochener Tätigkeit aufrecht zu erhalten. Die Strahlung war während ihrer ganzen Dauer eine außergewöhnlich harte.

Um zu einer geeigneten Versuchsanordnung zu gelangen, griff ich auf Vorrichtungen bekannter Art zurück, die in der Starkstromtechnik dazu dienen, die entgegengesetzten Phasen von Wechselströmen gleichzurichten und nutzbar zu machen.

Für hochgespannte Wechselströme, wie sie zum Betriebe von Röntgenröhren, besonders der hier verwandten von abnorm hohem Widerstande, sich eignen, existierten damals solche Versuchsanordnungen noch nicht.

Der oben beschriebenen Koch'schen Wechselstromanordnung gegenüber befand ich mich insofern im Vorteil, als mir gar nichts daran liegen konnte, eine zentralprojektivische Strahlung, die im Aufnahme- und Durchleuchtungsverfahren unerläßlich ist, zu gewinnen. Deshalb ging ich dazu über, den hochgespannten Wechselstrom ganz auszunutzen, indem ich zwei unabhängige Röntgenröhren gleichzeitig betrieb. Jede Röhre erhielt dabei gleichgerichtete Impulse.

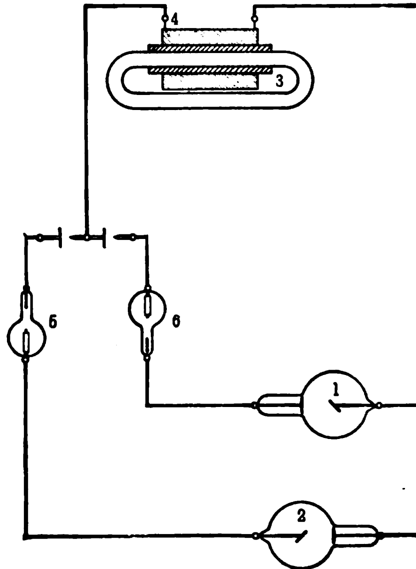
Das erfolgt in der Weise, daß Ventilapparate eingeschaltet werden, die das Verteilen der Ströme in den beiden Röhren übernehmen. Jede Wechselstromperiode wird durch diese Schaltung

---

*) Verhandlungen des ersten Röntgenkongresses in Berlin, Vortrag 38 (Hamburg, Lucas Graafe u. Sillem); ferner Archiv für physik. Med. 1906, Heft 1 (Leipzig, Otto Nemnich).

halbiert und jede der beiden Röhren erhält je sämtliche Phasen einer Richtung. Wenn nur die Ventilvorrichtungen hinreichend wirksam sind, können die Röhren sogar ziemlich verschiedene Härtegrade besitzen.

Auf der Zeichnung ist eine schematische Darstellung einer solchen Einrichtung gegeben. 1 und 2 sind die beiden Röntgenröhren, welche mit dem Wechselstrom-Hochspannungstransformator 3 in Verbindung stehen. Von der einen Anschlußklemme (4) des sekundären Solenoids gabelt sich die Leitung in zwei Äste, deren jeder eine Vorrichtung (5 und 6) mit ungleichem Widerstande gegenüber Impulsen verschiedener Richtung enthält. Solche Vorrichtungen sind beispielsweise Funkenstrecken mit Spitze und Scheibe, die bekannten Gundelachschen Ventilröhren, die Wehneltschen Drosselröhren. Eine solche Vorrichtung genügt nicht



Figur 50.

in allen Fällen. Man kann sie in Serienschaltung oder bei höheren Intensitäten in Parallelschaltung kombinieren. In der letzten Zeit sind auch Röntgenröhren mit einseitig erhöhtem Widerstande, also gewissermaßen mit eingebauten Ventilen, unter dem Namen: „Schließungslichtfreie Röhren“ in den Handel gebracht worden. Auch diese kann man benutzen. — Nach Passieren der Röntgenröhren kann die Leitung ohne weiteres wieder vereinigt und zum

anderen Ende der sekundären Spulen des Hochspannungstransformators zurückgeführt werden, ebensowohl aber kann man auch hier nochmals Ventile einschalten. Die Funktionsweise ist ohne weiteres klar.

Wie erwähnt, habe ich solche Vorrichtungen in vielhundertstündigen Betrieben ausgeprobt und konnte den Betrieb auch, von einigen technischen Unebenheiten abgesehen, im wesentlichen störungsfrei aufrecht erhalten.

Auf diese Weise wurde zum ersten Male experimentell ein für gewisse Distanzen als ziemlich homogen anzunehmendes Röntgenstrahlenfeld erzielt. Man kann in einem solchen Felde eine ganze Reihe interessanter physikalischer Versuche über die Wirkungen der Röntgenstrahlen anstellen. Auffällig war insbesondere die enorm starke Elektrisierung des Körpers in einem solchen Raume.

122. Prinzipielle Fragestellung. Was unseren speziellen Anwendungszweck anlangt, die therapeutische Benutzung der Röntgenstrahlen, so hat diese prinzipiell neue Versuchsanordnung ganz wesentliche Verschiebungen im Gefolge. Zunächst löst diese Versuchsanordnung die grundlegende Frage, ob es sich bei einer ganzen Anzahl von therapeutischen Wirkungen um eine lokale Beeinflussung der erkrankten Stelle durch die lokal applizierten Strahlen handelt, oder ob die Reaktion eine mittelbar (durch Blutbeeinflussung oder dergleichen) ausgelöste ist. Meine Versuche lassen darüber bis jetzt ein abschließendes Urteil nicht zu. Indessen machten sie es sehr wahrscheinlich, daß wir es überwiegend mit indirekten Wirkungen zu tun haben. In diesem Falle wird die Homogenbestrahlung im Gegensatz zur jetzt benutzten lokalen Bestrahlung allgemein angewendet werden müssen. Es erschien bei den Versuchen so, als ob physiologische Reaktionen sich bei dieser Bestrahlungsart viel früher einstellten, als es der lokal applizierten Dosis erfahrungsgemäß entspricht. Wenn das sich weiterhin bewahrheitet, so ist die gesamte Röntgentherapie damit in ein neues Stadium ihrer Entwickelung getreten. Sie wird aus einer rein lokalen (die natürlich für Hautkrankheiten bestehen bleibt) eine Allgemeintherapie werden.

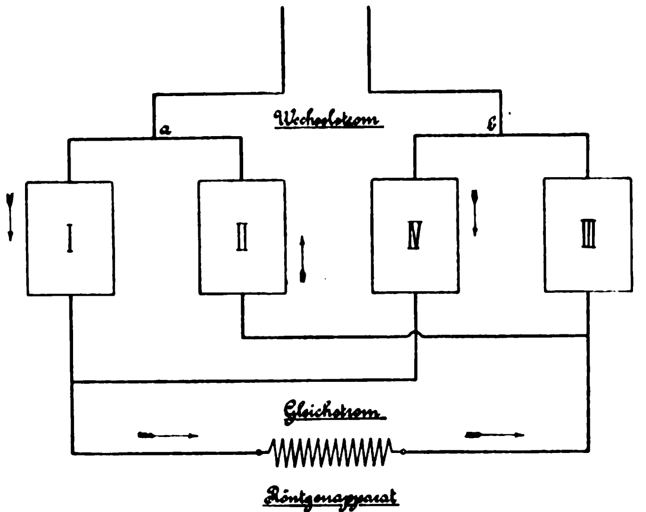
Was die Gefahr anlangt, so wird diese durch einen solchen Bestrahlungsmodus ganz außergewöhnlich herabgesetzt. Die Dosierung ist viel milder, zuverlässiger. Sie geschieht einfach nach der Zeit und, da die Stromkurve bekannt, nach der Stromintensität des Sekundärkreises. Die Messung der mittleren Feldstärke kann durch Photometrieren eines Leuchtschirmes geschehen.

Die Elektivwirkung tritt rein zutage. Normale Zellen, bei denen im Sinne der Zellentheorie also die organotypische Funktion überwiegt, brauchen gar nicht bis zur Reaktion zu kommen,

während die anderen, im Sinne obiger Theorie, cytotypischen schon zerstört werden. Die Patienten selbst merken von der Bestrahlung fast nichts, insbesondere, wenn sie in einem vom Tageslichte erhellten und durchlüfteten Raume vorgenommen wird. Will man ganz vorsichtig sein, so kann man dennoch auch hier durch Schutzmaterialien unbeteiligte Körperstellen der Bestrahlung einigermaßen entziehen.

123. Andere Möglichkeiten des Wechselstrombetriebes. Grissons Vorschlag

Schließlich möge noch der Vollständigkeit halber ein Vorschlag von Grisson erwähnt werden, der durch 4 in den Wechselstromkreis eingeschaltete Monopolarzellen (sogeannte Pollak'sche Schaltung) den Wechselstrom gleichrichtet, wie sich dies aus der Fig. 51 ohne



Figur 51.

weiteres ergibt. Die Anordnung gibt keine wesentliche Vervollkommnung der im vorigen Abschnitt dargestellten Einrichtung mit einer Monopolarzelle. Der Vorteil der Benutzung beider Wechselstromhalbwellen wird durch die umständlichere Wartung und Erneuerung der 4 (bei Drehstrom 6) elektrolytischen Zellen wohl größtenteils wieder aufgehoben.

---

3. Kapitel.

Die Technik der Vakuum-Apparate.

A.

Die Röntgenröhre.

124. Technik der Röntgenröhre. Im voraufgegangenen Kapitel haben wir die physikalischen Grundlagen, die Vorgänge, die sich beim Stromdurchgang in der Röhre abspielen, kennen gelernt. Um die Technik der Röntgenröhren-Konstruktion zu behandeln und damit zugleich den rationellen Betrieb der Röntgenröhre kennen zu lernen, erscheint es zweckmäßig, zunächst die einzelnen Teile der Röhre zu besprechen, und dann schließlich die Funktion des Gesamtorganes ins Auge zu fassen.

125. Material. Das ausschließlich zur Herstellung des gasarmen Behälters benutzte Material ist Glas und zwar in der Regel grün fluoreszierendes deutsches Hüttenglas, zuweilen auch das blau fluoreszierende, bleihaltige englische Glas. Schon bei der Herstellung des kugelförmigen Glasballons ergibt sich ein prinzipieller Unterschied zwischen der Hüttenkugel und der geblasenen Kugel. Nicht ganz selten macht der Röntgenologe die trübe Erfahrung, daß eine Röhre bei leichter Berührung oder sogar scheinbar ganz ohne äußere Ursache mit heftigem Knall durch den äußeren Luftdruck zusammengedrückt wird, „implodiert“, wie man anolog zur Explosion sagen müßte. An sich ist darin nichts Verwunderliches. Auf der äußeren Glaswand ruht der Druck einer Atmosphäre ungefähr, das ist 1 Kilogramm auf den cm^2 Flächeneinheit. Die Dicke der Glaswand beträgt an manchen Stellen kaum mehr als die eines Kartenblattes. So lasten einige 100 Kilogramm auf dem zerbrechlichen Gefäß. Daß die Röhre überhaupt diese Last aushält, verdankt sie ihrer Gewölbekonstruktion. Sie hält aus demselben Grunde wie Brückenbogen halten oder die dünne Felge eines Fahrrades, dessen Speichen angezogen sind.

Hüttenkugelröhren d. h. solche, deren Kugel in der Glashütte unmittelbar aus dem Ofen heraus geblasen wird (insbesondere Röhren von Gundelach-Gelberg, die Patent-Eisenröhre, die Idealröhre) halten den Druck gut aus. Denn das Gewölbe der Kugel ist homogen und gleichmäßig abgekühlt, so daß keine Spannungsdifferenzen in ihm auftreten. Geblasene Kugeln dagegen, d. h. solche, die am Bunsenbrenner erhitzt und ausgeblasen werden, können nicht ebenso gleichmäßig erwärmt sein und so kommt es, daß sich bei ihnen im Glasgewölbe häufig Spannungen während

des Erkaltens ausbilden. Solche Röhren, insbesondere solche mit sehr großem Volumen, implodieren dann häufig mit außerordentlicher Vehemenz. Ein Teil des Glases zerstäubt dabei so fein wie Puder. Verletzungen sind dabei nicht ausgeschlossen, wenn auch nur selten beobachtet worden.

Zur Einführung der Elektroden durch die Glaswand eignet sich nur Platin. Platin hat denselben Wärmeausdehnungscoëfficienten wie Glas, daher denn auch alle Elektroden durch feine Platindrähtchen mit den äußeren Anschlußstellen verbunden sind.

Man kann folgende Hauptteile an der Röhre unterscheiden: 126. Hauptteile der Röhre.

die, in einem langen röhrenförmigen Glasansatz (Kathodenhals) angeordnete hohlspiegelförmige Kathode, der kugelförmige Teil des Entladungsrohrs, den wir soeben besprachen,

ein kleiner Ansatz mit äußerem Anschluß, der die aus Aluminium hergestellte, als kleiner Stift oder als kleine Scheibe ausgebildete Hilfsanode, auch schlechtweg Anode genannt, trägt,

die Antikathode, die sehr mannigfaltig ausgebildet ist, aber stets in eine schräggestellte, mit Platin überzogene und etwa in der Mitte der Röhre angeordnete Scheibe endigt. Auch die Antikathode besitzt eine äußere Stromzuführung, die in der Regel durch eine Drahtleitung mit der Hilfsanode verbunden ist,

die Abschmelzstelle der Röhre, ein kleiner Glaszapfen, häufig am Kathodenhalse seitlich herausragend und nicht selten zum Schutze mit einer Gummikappe überzogen. Hier war die Röhre während ihrer Evacuation an die Luftpumpe angeschlossen. Deshalb ist diese Stelle auch empfindlich und man sollte die Röhre nicht an dieser Stelle in den Halter einspannen.

den Regenerierapparat. Seine Konstruktion ist sehr mannigfaltig und er kann an verschiedenen Stellen der Röhre angeordnet sein. Es handelt sich dabei immer um Vorrichtungen, der allzu gasarmen Röhre von außen oder durch Erhitzen von Substanzen im Innern Gase zuzuführen, sie zu erweichen oder andrerseits durch Okklusion Gase zu binden.

Endlich bei einzelnen Röhrenkonstruktionen eine unabhängig davon wirkende Regulierung, die den Härtegrad der Röhre, d. h. die Penetrationskraft der X-Strahlung unabhängig vom Vakuum zu verändern gestattet.

Von der Konstruktion der Kathode mag hier gesagt sein, 127. Konstruktion der Kathode und der Hilfsanode.
daß sie aus Aluminium bestehen muß, dem einzigen im Vakuum nicht zerstäubenden Metall. Je tiefer der Hohlspiegel in den Glashals zurücktritt, desto weniger treten seitlich vom Rande des Hohlspiegels störende Kathodenstrahlen aus. Anderseits wird der Widerstand, der dem Stromdurchgang durch die Röhre sich ent-

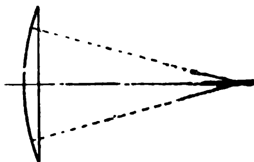
gegensetzt, umso größer, je tiefer der Hohlspiegel in den Glashals zurücktritt. Jedenfalls soll bei einer guten Röhre der Kathodenhohlspiegel nicht in das Kugelvolumen hineinragen, sondern etwas in den Kathodenhals zurücktreten.

Die Hilfsanode ist gleichfalls aus Aluminium gebildet und erfüllt ihren Zweck insbesondere bei der Herstellung der Röhre selbst. Während des Evacuierens wird nämlich durch die Röhre Strom hindurchgeleitet. Würde man die Antikathode zur Stromzuführung benutzen, so würde ihr Platin zerstäuben.

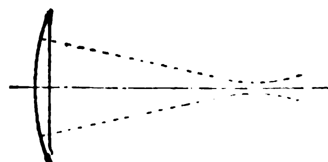
Je größer die Oberfläche der Hilfsanode ist, und je freier sie in das Röhrenvolumen hineinragt, desto leichter tritt der Strom bei ihr ein oder aus. Das hat die eine Gefahr, daß die Impulse verkehrter Richtung (Schließungsinduktion siehe 25, 74, 79) bei Röhren mit großen freistehenden Hilfsanoden leicht eintreten. Dabei wird die Hilfsanode (und eventuell die Antikathode) für den verkehrten Impuls natürlich Austrittsstelle, sendet also Kathodenstrahlen aus, die senkrecht von der Entstehungsfläche auswandern, auf den gegenüberliegenden Glaswänden die eigentümlichen und so charakteristisch geformten Schließungslichtflecken hervorbringen.

Solche Flecken verraten die Form ihrer Ausgangsörter und sind Symptome dafür, daß die so eminent schädliche Schließungsinduktion vorhanden ist. (Über ihre Elimination siehe folgendes Kapitel.)

128. Konstruktion der Antikathode. Die größte Mannigfaltigkeit weisen die Röhren in Bezug auf die Konstruktion der Antikathode auf. Für alle Ausführungsformen gemeinschaftlich wichtig ist ihre Stellung, daß nämlich auf der platinierten Ebene wirklich der möglichst kleine Einfallsort der gesamten vom Hohlspiegel her wandernden Kathodenstrahlung ist. Dieser (fälschlich) als Fokus bezeichnete Auftreffpunkt der Kathodenstrahlung ist ja das Projektionszentrum der X-Strahlen. Bei jeder Centralprojektion hängt, wie wir gesehen haben (siehe 22,



Figur 55 a.
Konzentration der Lichtstrahlen.



Figur 55 b.
Konzentration der Kathodenstrahlen.

23, 24), die Bildschärfe von der Kleinheit des Projektionszentrums ab. Deswegen wendet der Glasbläser alle Sorgfalt an, um die Antikathodenfläche wirklich in den Krümmungsmittelpunkt des Hohlspiegels zu bringen.

Das kann aus dem Grunde nicht ganz gelingen, weil die Kathodenstrahlen tatsächlich nicht wie etwa Lichtstrahlen es tun würden, im Krümmungszentrum zusammenlaufen. Sie besitzen nur eine Stelle größter Einschnürung, gehen dann wieder auseinander. Diese Stelle größter Einschnürung zu treffen, ist eine sehr wichtige Aufgabe bei der Herstellung der Röhre.

Wenn die Röhre ihr Vakuum ändert, verschiebt sich die Einschnürungsstelle ein wenig. Da die Antikathode fix ist, tritt der Einschnürungspunkt vor oder hinter die Antikathode. Die Zentralprojektion wird beeinträchtigt, die Bilder besitzen nicht mehr vollkommene Schärfe. Man sieht häufig bei der arbeitenden Röhre den Antikathodenfleck. Er gerät auch zuerst in Glut. Ist dieser Fleck möglichst klein und steht er ruhig auf der Antikathode, dann gibt die Röhre scharfe Bilder. Ist er aber groß, oder beobachtet man mehrere wandernde Flecken, dann ist die Zeichnung der Röhre jedenfalls nicht sehr scharf.

Es sei an dieser Stelle bemerkt, daß die zur Projektion dienenden X-Strahlen selbstverständlich von der Antikathode ausgehen, nicht etwa wie man unbegreiflicherweise hie und da noch hört von der leuchtenden Halbkugel der Röhre. Die Fluorescenz der vorderen Röhrenhalbkugel stammt von den sogenannten reflektierten Kathodenstrahlen (24). Diese Bezeichnung deckt nicht ganz. Es handelt sich nämlich um Kathodenstrahlung, die beim Aufprallen der ursprünglichen Kathodenstrahlen sekundär auf der Antikathode erzeugt wird und nun die Fluoreszenz der vorderen Halbkugel hervorbringt. Das Phänomen ist für das Röntgenverfahren ziemlich bedeutungslos. Es entsteht an der Glaswand dann zwar eine leichte, diffuse, aber wegen ihrer Geringfügigkeit für die diagnostische Anwendung des Verfahrens unschädliche Röntgenstrahlung auf der Glaswand (Glasstrahlen). Ob diese Glasstrahlung nicht vielleicht in der Therapie manchmal wirksam sein kann, möge dahingestellt bleiben.

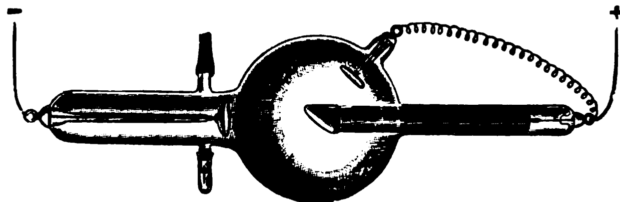
129. Fortsetz. Wärmebelastung der Antikathode. Antikathoden mit hoher Wärmekapazität oder hohem Wärmeleitungsvermögen. Typen von Müller, Gundelach u. A.

Die Antikathode nimmt nicht nur elektrische Ladung von der herandringenden Kathodenstrahlung auf, sondern auch Wärme (siehe 18, 26). Die elektronegative Ladung wird durch Verbindung der Antikathode mit der Hilfsanode abgeleitet. Es ist deshalb sehr wichtig, daß die Antikathode irgendwie mit der Hilfsanode (bezw. mit dem positiven Pol des Induktoriums) verbunden sei.

Ihre Hauptaufgabe bei der Antikathodenkonstruktion erblickten indessen die Konstrukteure augenscheinlich in der Wärmeableitung. Und hier teilt sich denn auch die Auffassung am weitesten, hier hat sich die Röhre am meisten in ihrer Konstruktion den Aufgaben anzupassen, welche der praktische Betrieb an sie stellt.

Die Wärmebelastung der Antikathode ist beim Chirurgen eine ganz andere als beim Internisten und beim Dermatologen. Der Chirurg macht Aufnahmen, der Internist wesentlich Durchleuchtungen. Bei der Durchleuchtung muß in jedem Bruchteile einer Sekunde das ganze Untersuchungsbild auf dem Leuchtschirm zu Tage treten, bei der Aufnahme können sich die Strahleneindrücke der ganzen Expositionsdauer addieren, wenn nur schließlich ein Gesamtbild entsteht. Somit ist die momentane Belastung bei der Durchleuchtung viel höher, es müssen in jedem Zeitteilchen mehr X-Strahlen erzeugt werden, die Strombelastung muß größer sein, der Kathodenstrahlentransport reichlicher. Dadurch wird die Antikathode sehr rasch vom Focus aus erhitzt und es ist die Gefahr einer zu hohen Temperatursteigerung naheliegend, wenn nicht gleichzeitig für rasche Ableitung der Wärme gesorgt wird. Für internistische Zwecke muß daher die Antikathodenkonstruktion rasche Wärmeableitung berücksichtigen, sie muß mit andern Worten Materialien von möglichst gutem Wärmeleitungsvermögen (Metallblöcke) verwenden. Die Dauer einer Durchleuchtung ist in der Regel nicht sehr lang. 2—3 Minuten Durchleuchtungsdauer für den einzelnen Fall und für den geübten Untersucher ist sehr viel. Das gesamte Wärmequantum, welches die Kathodenstrahlen auf der Antikathode ablagern, ist deshalb nicht sehr groß, dagegen die Temperaturbelastung des Focus in jedem Teilchen beträchtlich.

In einer chirurgischen Klinik dagegen werden häufig mit ein und derselben Röhre hintereinander 5—6 und mehr Aufnahmen gemacht. Die Momentanbelastung ist dabei wesentlich geringer, aber der gesamte Wärmetransport in dieser ganzen Zeit ist recht erheblich. Mit andern Worten, die Kalorienzahl nach einer Aufnahme-Serie ist viel größer als beim Durchleuchtungsverfahren. Die Antikathodenkonstruktion muß infolgedessen eine möglichst große Wärmekapazität berücksichtigen, also das direkte Gegenteil der Anforderung der internen Medizin.

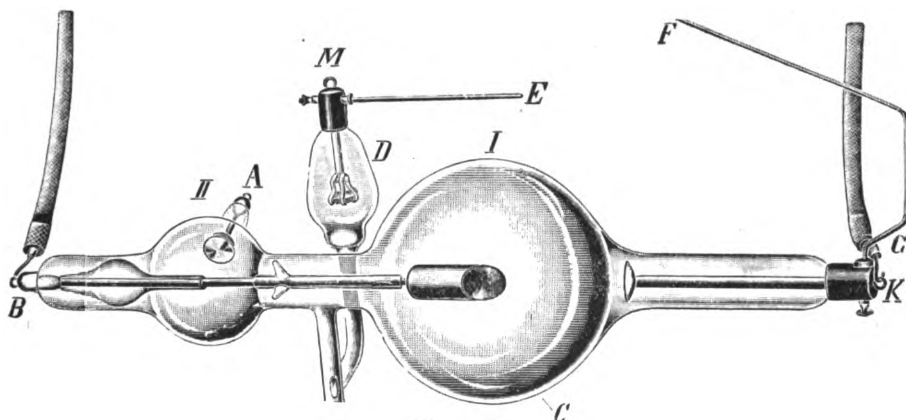


Figur 56.

Bei der Therapie handelt es sich auch fast stets um Dauerbelastungen. Röhren, wie die Patent-Eisenröhre von Gundelach (Fig. 56).

die Polyphosröhre mit Eisenklotz als Antikathode (Fig. 57), die Müllerröhre 13 (Fig. 58), besitzen Antikathoden mit gutem Wärmeleitungsvermögen. Sie vertragen momentan hohe Belastungen, weil die erzeugte hohe Temperatur rasch abgeleitet wird. Ihr Anwendungsgebiet ist infolgedessen hauptsächlich das Durchleuchtungsverfahren, auch Einzelaufnahmen mit kürzeren Expositionszeiten. Macht man dagegen mit einer weichen Röhre eine Reihe von Aufnahmen hintereinander, so wird nach der 2. oder 3. Aufnahme der Antikathodenklotz insgesamt zu heiß und braucht eine Weile um sich abzukühlen.

Röhren dagegen, wie die Gundelach'sche Wasserkühlröhre, oder auch die vorzügliche aber teure Wasserkühlröhre von Müller (Hamburg) besitzen in der Antikathode eine hohe Wärmekapazität. Man kann sie bei mittlerer Belastung stundenlang einschalten. Die Verdunstung des Wassers entzieht dabei der Andikathode genügend Kalorien.

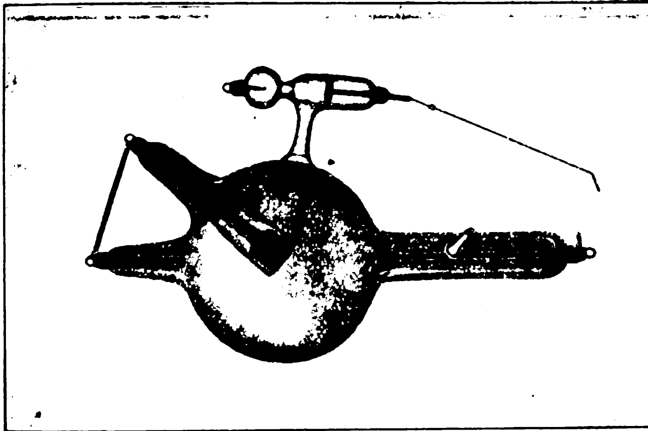


Figur 57.

Auch die Kontraströhre von Emil Gundelach mit Porzellanhinterlegung (Fig. 59) der Metallscheibe gehört in diese Gruppe. Das Porzellan hat eine ziemlich hohe Wärmekapazität, nimmt also bei Dauerbelastung viele Kalorien auf. Würde man aber eine solche Röhre für einen Augenblick stark belasten, so würde ein Loch in die Metlallscheibe der Antikathode hineingebrannt. Dies wäre also unzweifelhafter grober Behandlungsfehler.

Röhren von Becker, Ehrhardt, Burger, Schilling gehören teils der ersten, teils der zweiten Gruppe in Bezug auf ihre Antikathoden-Konstruktion an. Die Röhren von Bauer vertragen wegen ihrer außerordentlich großen antikathodischen Metallmassen hohe Belastung auf ziemlich lange Zeit, besitzen aber auch andrerseits in vollem Umfang die Fehler, die allzugroßen Metallmassen freiliegend in der Röhre anhaften.

130. Die Wirkung der Metallmassen. Freie Metallmassen auf der Antikathode lassen, wenn sie mit dem Plus-Pol des Induktoriums verbunden sind, verkehrte Impulse (Schließungsinduktion) leicht eintreten. Das findet sich bei den



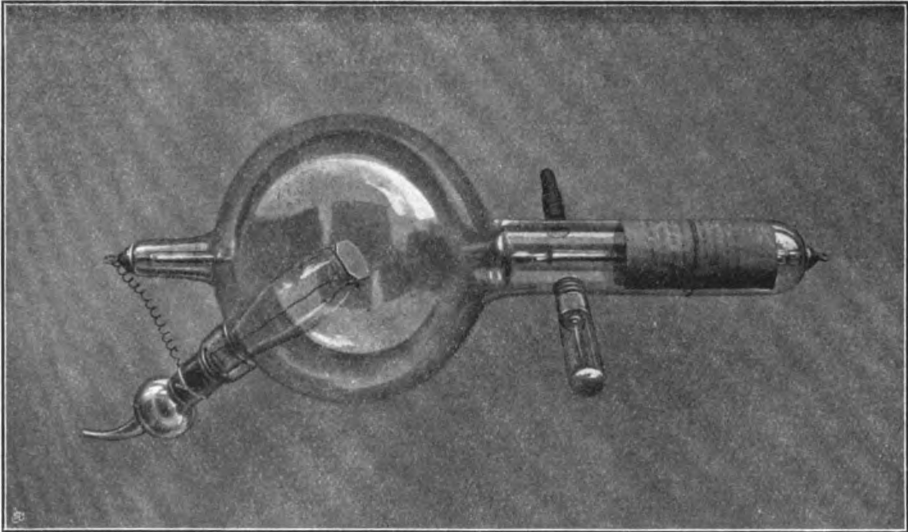
Figur 58.

Gundelachröhren. Sie sind sehr schließungsinduktionsempfindlich. Bauer unterbricht infolgedessen bei seinen Röhren die Verbindung zwischen Antikathode und Anode und schließt nur die Hilfsanode an das Induktorium an. Das hat nun wiederum die Gefahr, daß die Antikathode stark negativ geladen wird, das Kathodenstrahlenbündel abstößt und unscharf zeichnet.

Große Metallmassen in der Röhre haben ferner das bedenkliche, daß sie, wenn sie nicht genügend ausgeglüht sind, bei Erwärmung leicht Gas abgeben. Dann wird die Röhre weich oder sie kehrt sogar in das Geißler Vakuum zurück (siehe 15, 16). Ist dagegen die Metallmasse sehr stark ausgeglüht, dann zeigen die Röhren erhebliche Neigung zum raschen Hartwerden. Sie verlieren eine gewisse Nachgiebigkeit gegenüber der Strombelastung, die denjenigen Röhren eigen ist, bei denen noch Gasreste im Metall eingeschlossen sind. Diese letzteren geben, bei starker Belastung mit Strom, vermöge der dadurch hervorgerufenen Erwärmung, ein wenig Gas ab, werden ein wenig weicher im Betrieb.

131. Umgebung der Antikathode. Müller-Hamburg hat meines Wissens als erster die isolierende Umkleidung der Antikathode eingeführt. (Modell 13a.) Der Erfolg ist impirisch wohl unzweifelhaft eine Verkleinerung des Antikathodenflecks, wahrscheinlich auch eine Verschärfung der Bildzeichnung und

eine Verlängerung der Lebensdauer. Nicht in gleichem Maße aber doch immerhin schon bemerklich, wird diese Verbesserung erreicht, wenn die Antikathodenfläche mit einem kleinen vorstehenden metallischen Rand (Müller, Gundelach und andere) versehen wird.



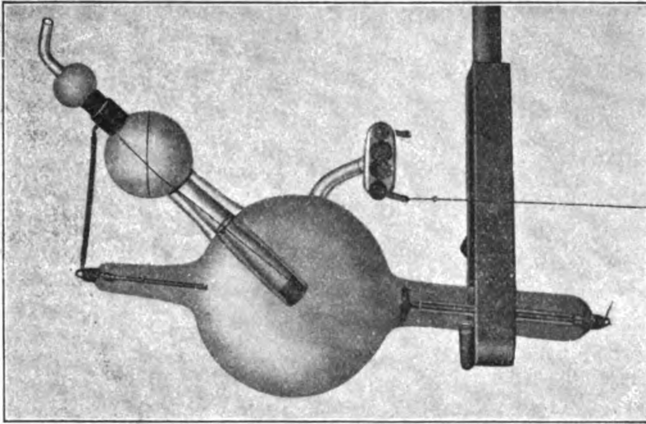
Figur 59.

So muß also bei der Auswahl der Röhre für den einzelnen Gebrauchszweck die geeignetste Antikathodenkonstruktion ausgewählt werden. Nach den Erfahrungen der Herausgeber bewähren sich am besten für den gewöhnlichen Gebrauch folgende Typen Müller 13a (Durchleuchtung, Einzelaufnahme), Gundelach Patentröhre (Starke Belastung, Durchleuchtung, Einzelaufnahme). Auch die entsprechende Type von Becker scheint brauchbar, wenn auch nicht ganz ebenbürtig. 132. Erfahrungen.

Müller Wasserkühlröhre (Fig. 60) und Gundelach Wasserkühlröhre für Aufnahmeserien, langdauernde Einschaltungen mit mittlerer Belastung, auch für Therapie. Für therapeutische Zwecke können Röhren mit unscharfem Focus von der verschiedensten Art Verwendung finden, insbesondere eignet sich auch die Gundelach'sche Wasserkühlröhre (Fig. 61).

Nicht minder mannigfaltig sind von den Konstrukteuren die Regeneriervorrichtungen ausgebaut worden. Ursprünglich — man 133. Die Regenerierung.

findet auch jetzt noch vereinzelte derartig gebaute Modelle — schmolz man in einen kleinen seitlich angebrachten Glasansatz organische Substanzen ein (Ätzalkalien oder dergleichen), die ein wenig Gas bei Erwärmung von außen abzugeben imstande waren. Als Heizquelle dient ein Spirituslämpchen oder gar nur ein Streichholz. Man kann diese Methoden aber nach dem heutigen Stande der Technik als unzulänglich und damit ausgestattete Röntgenröhren als in Bezug auf die Regenerierung minderwertig bezeichnen.

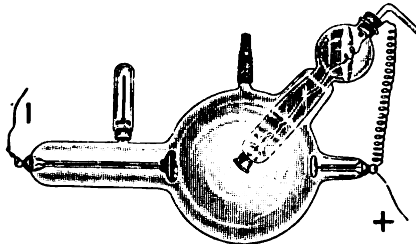


Figur 60.

Der Zweck der Regenerierung ist, wie oben (siehe 30, 31) schon mehrfach aufgeführt wurde, die Gaszufuhr zur hart gewordenen Röntgenröhre. Die beste Lösung gibt die Methode von Villard. Ein kleines dünnwandiges Röhrchen aus Palladium (nicht etwa ein Stift, wie man oft hört und liest) am freien Ende geschlossen, ist seitlich in den Kathodenhals so eingeschmolzen, daß der Innenraum des Röhrchens mit dem Innern des Entladungsrohres kommuniziert. Palladium hat von allen Platinmetallen im höchsten Grade die charakteristische Fähigkeit der Wasserstoff-Okklusion. Erhitzt man ein Palladiumröhrchen mit einem Spiritus- oder Gasbrenner (man soll es nie mit einem Streichholz tun), so nimmt das glühend gewordene Metall aus dem Flammenkörper Wasserstoff auf und gibt davon insbesondere beim Erkalten, einen Teil auch in das Innere des Rohres ab. So ist man in der Lage, von Zeit zu Zeit immer wieder und ohne besondere Mühe, der erschöpften Röhre von außen Gas zuzuführen. Die Villard'sche Regenerierung darf nur von der Gundelach'schen Glashütte ausgeführt werden, alle Röhren in

Deutschland mit Villard'scher Regenerierung stammen von dieser Hütte.

Gleichfalls ursprünglich aus Frankreich stammt die ebenfalls sehr brauchbare Glimmerregeneriervorrichtung, die in den mannigfaltigsten Formen ausgeführt wird. Glimmer gibt erwärmt ziemlich viel Gas ab. Man pflegt indessen zu seiner Erhitzung nicht eine Lampe zu nehmen, sondern den Strom selbst zu benutzen. So läßt Müller an einer seitlich angebrachten Hilfsröhre den Strom durch eine Elektrode eintreten, die als Glimmerscheibe endigt. Die Anordnung ist sehr geschickt gewählt. Man kann, mit Hilfe eines beweglichen, am äußeren Anschluß dieser Hilfselektrode befestigten Metalldrahtes einen mehr oder weniger großen Teil des gesamten, die Röhre passierenden Stromes, durch diese Regenerier-Elektrode hindurchleiten. Der äußere Draht ist nämlich so beweglich angeordnet, daß er leicht mehr oder weniger der äußeren Zuführung der Kathode genähert werden kann, wie es die Figur 58 darstellt. Beim Stromdurchgang durch die Regenerier-Elektrode, die also in diesem Fall eine Kathode ist, tritt Gas aus dem Glimmer von der Seitenröhre in die Hauptröhre ein.



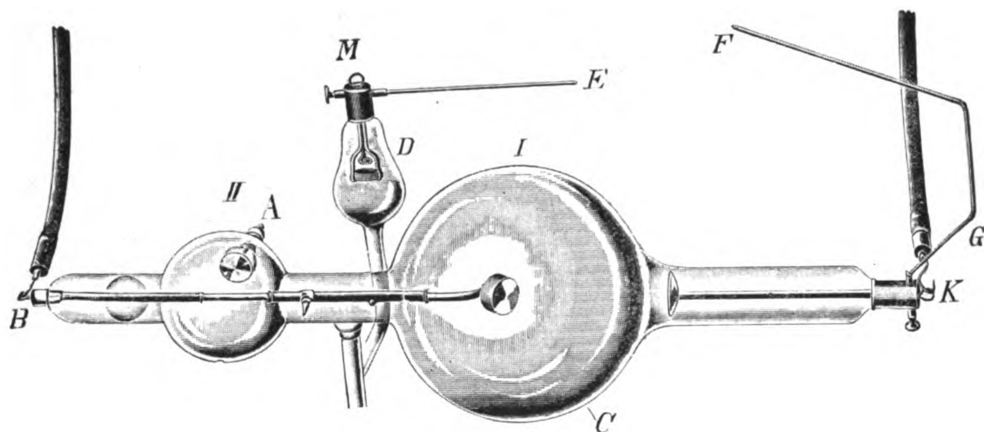
Figur 61.

Eine andere Art dieser Glimmerregenerierung stellt die Glimmerplatte einer metallischen Hilfskathode D in Figur 62 gegenüber. Die Glimmerplatte wird durch Kathodenstrahlen erhitzt (Konstruktion von Dr. Rosenthal). Alle übrigen Regenerier-Methoden haben sich im Vergleich zu den erwähnten beiden Systemen von Villard und der Glimmerregenerierung nicht in gleichem Maße bewähren können.

Mehr und mehr kommt man davon ab, die Härtevorrichtungen zu benutzen. Die Müller'sche Härtevorrichtung bestand in einer kleinen Platinspirale, die als Hilfsanode benutzt werden konnte, dabei glühend wurde, zerstäubte, beim Niederschlagen von Platinteilchen an der Glaswand ein wenig Gas band. Müller gibt jetzt diese Konstruktion meist selbst auf und es läßt sich allgemein sagen, daß der Wert der Härtevorrichtung fast gleich Null ist. Die Röhren werden ohnehin allmählich härter und man sollte 134. Die Härtungsvorrichtung.

diesen Alterungsprozeß nicht beschleunigen. Allenfalls nach einer zu reichlichen Regenerierung konnte das Härteverfahren in ganz vereinzelten Fällen vielleicht die Röhre noch retten. Meistens versagt es aber in solchen Fällen.

Auch das verkehrte Schalten der Röhre führt durch Metallzerstäubung der Antikathode zum Härten und soll aus dem erwähnten Grunde möglichst vermieden werden.



Figur 62.

135. Regenerieren und rationeller Röhrenbebetrieb. Praktische Winke.

Allgemein läßt sich über das Regenerieren folgendes sagen: Je seltener es vorgenommen wird, desto länger konservieren sich die Röhren. Man soll zum Regenerieren erst schreiten, wenn die Röhre wirklich hart geworden ist und dann soll man sie gleich gründlich regenerieren. Zum Regulieren, das heißt, zum anpassen des Strahlungscharakters an ein bestimmtes Objekt, taugt das Regenerieren nicht. Das Regenerieren verkürzt ganz allgemein die Lebensdauer der Röhre.

Ein rationeller Röhrenbetrieb ist etwa der folgende: Man verfügt über 4—5 Röhren, die naturgemäß in ihrem Härtegrad alle von einander etwas verschieden sind. Man ordnet sie in ein Gestell so übereinander oder untereinander an, daß zum Beispiel die weichste ganz oben, die härteste ganz unten lagert. Dann weiß man, bei einer Aufnahme oder Durchleuchtung ungefähr von vornherein, welche Röhre man zu wählen hat. Die oberste weichste, etwa zur Hand- und Unterarm-Aufnahme, zu Weichteil-Struktur-Bildern, zu Bestrahlung ganz oberflächlicher Herde, mit kurzer Belichtungsdauer (großer chemischer Effekt der weichen Röhre!) und unter Kontrolle einer Dosierungsskala (Vergleiche den Abschnitt

über Radiotherapie). Die nächste für Ellenbogen, Fuß, Knie; die dritte, die etwa mittelweich ist: für Thorax, Hals, Schultergelenk. Die vierte Röhre, die schon mittelhart ist, deren Strahlung also ein Becken durchdringt: für Becken- und Kopfaufnahmen und Oberschenkeluntersuchung. Die harte Röhre ist für Aufnahmen kaum mehr verwendbar, sie dient in einigen Fällen zur Durchleuchtung und zur Therapie für tiefer liegende Prozesse bei langer Bestrahlungsdauer (geringe chemische Wirkung!).

Bei der Benutzung werden nun alle Röhren ein wenig härter, die härteste wird unbrauchbar, und diese wird nun regeneriert und zwar so, daß sie jetzt in der Röhrenskala ganz oben wieder anfängt, während alle anderen eine Stufe tiefer rücken. Die mittelharte Röhre gilt also jetzt als die harte, die mittelweiche ist mittelhart geworden u. s. w.

So wird das Regenerieren auf das geringste Maß eingeschränkt und die Abnutzung der Röhren möglichst reduziert.

Jeweils nach dem Regenerien soll jede Röhre eine Zeitlang ruhen. Benutzung unmittelbar nach der Regeneration, insbesondere mit dem Villard'schen Palladium-Regenerator *) hebt einen Teil der Regenerierwirkung wieder auf und verdirbt die Röhre.

Das Regenerieren während der Aufnahme ist im allgemeinen zu verwerfen, sollte nur im äußersten Notfalle vorgenommen werden. Bei der Müller'schen Regenerierung soll deswegen auch der zur Regenerier-Elektrode führende Draht während der Aufnahme möglichst weit weggebogen werden, so daß kein Stromübergang zum Regenerator möglich ist. Der Grund ist oben schon erwähnt. (Siehe 128). Er liegt in der Verschiebung der Einschnürungsstelle des Kathodenstrahlenbündels bei der Veränderung des Vakuums. Es verschiebt sich oder vergrößert sich naturgemäß dabei der Antikathodenfleck, die Zentral-Projektion wird beeinträchtigt.

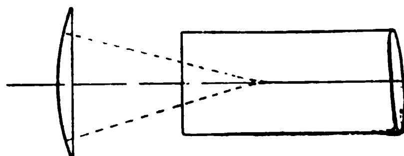
136. Die Regulierung im Gegensatz zur Regenerierung.

Etwas anderes als die Regenerierung der Röhre ist ihre Regulierung, die zum ersten Male vom Verfasser in der sogenannten Idealröhre von Gundelach und Dessauer angeordnet wurde. Es ist dies eine prinzipiell abweichende Röhrenkonstruktion, eine Röhre für Präzisionsaufnahmen, die vermöge ihrer äußerst scharfen Zentral-Projektion außerordentlich feine Strukturzeichnungen gibt (Präzisionsaufnahmen) und eine, vom Vakuum der Röhre unabhängige Reguliervorrichtung besitzt, um die Penetrationskraft der Strahlung in ziemlich weiten Grenzen ohne Gaszufuhr oder Gasbindung zu verändern. (Nachfolgende Darstellung des Prinzips dieser Röhre ist

*) Auch Osmoregenerator genannt.

dem mehrfach zitierten Kompendium der Röntgenographie der gleichen Verfasser entnommen).

Die Kathodenstrahlen laden die Körper, die sie auf ihrem Wege treffen, negativ-elektrisch, weil sie selbst negativ-elektrisch geladene Teilchen sind. Wird die Antikathode (siehe Fig. 63) in ein Rohr eingeschlossen, z. B. ein Metallrohr, so wird beim Eintritt der Kathodenstrahlen diese Metallröhre, die man auch als Blende bezeichnet,



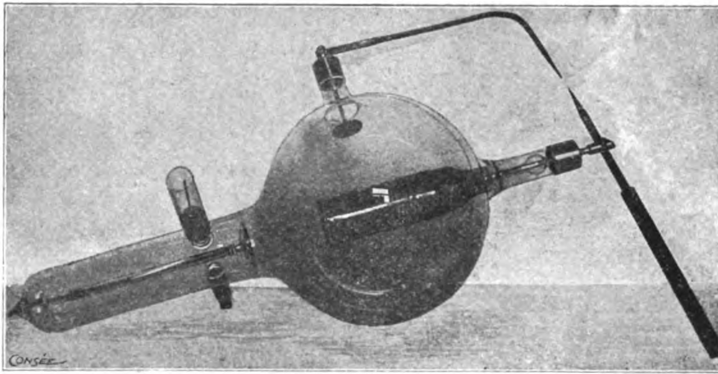
Figur 63.

negativ-elektrisch und ihre geladenen Wände stoßen die gleichfalls negativen Kathodenstrahlen ab, suchen sie möglichst weit von sich zu entfernen. So werden die Kathodenstrahlen im Innern des Rohres zusammengedrängt und verlaufen axial. Beim Auftreffen der Kathodenstrahlen auf die Antikathode wird der Ausgangspunkt der X-Strahlen mehr punktförmig und zwar nahezu unabhängig davon, wie grade der Charakter der Röhre ist, etwas weicher oder härter. Die Stellung der Antikathode ist nicht so wichtig wie sonst. Außerdem aber hat die Einführung einer solchen Blende in den Weg der Kathodenstrahlen noch eine andere Wirkung. Die Abstoßung der negativen Ladung dieser Blende auf die herandringenden negativen Kathodenstrahlen macht, daß die Kathodenstrahlen bei ihrem Wege einen Widerstand, eben diesen Abstoßungswiderstand überwinden müssen. Dadurch wird die Spannung, die notwendig ist, um trotzdem die Kathodenstrahlen zu erzeugen und zu dirigieren, größer und wir haben gesehen (vergl. 28, 29), daß von dieser Spannung bei der Bildung von Kathodenstrahlen, von diesem sogenannten Entladungspotential, die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen abhängt. Es wird also durch eine solche Konstruktion, durch einen eingefügten statischen Widerstand die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen vergrößert, größer als sie eigentlich dem Vakuum der Röhre entspricht.

Wenn wir nun eine Methode hätten, die Blende ihrer negativen Ladung zu berauben, so könnten wir dadurch die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen unabhängig vom momentanen Zustand der Röhre regulieren. Diese Konstruktion ist denn auch ausgeführt (Fig. 64).

In dieser Röhre ist die Antikathode von einer Blende umgeben, die negativ-elektrisch wird, die herantretenden Kathoden-

strahlen abstößt. Darüber ist eine Hilfsanode angeordnet. Durch die Verstellung eines Schiebers an einem Ende ist die Möglichkeit gegeben, der Hilfsanode mehr oder weniger Strom zuzuführen (durch Veränderung der Luftstrecke). Je mehr Strom der Hilfsanode zugeführt wird, desto mehr wird die Blende entladen. Denn die mit dem +-Pol verbundene Hilfsanode wird +-Elektrizität der Blende zuführen und dadurch die Blende entladen. Je mehr diese Blende entladen wird, desto weniger stößt sie die Kathodenstrahlen ab, desto geringer wird das Entladungspotential und desto geringer die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen. Man kann also durch die Anordnung eines solchen Schiebers die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen regulieren.



Figur 64.

Praktisch ist dabei eines nicht zu vergessen, nämlich: Strahlen von größerer Durchdringungsfähigkeit sind nur dann zu erzeugen, wenn das Induktorium größere Spannungen zur Verfügung stellt. Es muß daher der Regulierung zur Härte, der Vergrößerung des Luftwiderstandes immer eine Regulierung durch Ausschalten von Widerständen im Induktorstromkreis entsprechen und umgekehrt muß man bei Reduzierung dieses Luftwiderstandes, bei Verringerung der durchdringenden Kraft der X-Strahlen auch den primären Strom, den man zuführt, abschwächen, um die Röhre nicht mit Sekundärstrom zu überlasten.

Diese Röhre, bei der man zum erstenmale die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen in gewissen Grenzen unabhängig vom Vakuum regulieren und dem Objekte anpassen konnte, hat eine gewisse Bedeutung in der innern Medizin. Da steht man oft vor

der Aufgabe, allerfeinste Dichtigkeitsunterschiede wahrzunehmen und muß die Durchdringungsfähigkeit der X-Strahlen dem genau anpassen können.

Die Röhre ist mit Villard'scher Regenerierung ausgestattet.

137a. Die Lebensdauer der Röhre.

Die Lebensdauer der Röhre wächst mit dem Volumen. Das ergibt sich ohne weiteres daraus, daß die Kathodenstrahlen Gasteilchen sind und daß wir den Dissoziationsprozeß um so länger einleiten können, jemehr Gas insgesamt in der Röhre vorhanden ist. Da der Gasdruck, oder besser gesagt, das Vakuum in der Röhre aber in engen Grenzen gegeben ist, weil nur bei bestimmtem Vakuum überhaupt X-Strahlen sich bilden, so können wir nicht auf eine Raumeinheit mehr Gas bringen. Infolgedessen kann die Röhre nur durch Volumvergrößerung mehr Gas enthalten, und die Lebensdauer der Röhre wächst mit dem Volumen. Daher die in neuerer Zeit beliebte Anwendung von sehr großen Röhren.

137b. Die wichtigsten Regeln zur Behandlung der Röhre.

Die wichtigsten Regeln zur Behandlung der Röntgenröhren seien nachstehend zusammengefaßt (siehe Kompendium der Röntgenographie):

I. Man belaste die Röhre nicht mehr durch Strom, als absolut zu einer Durchleuchtung oder Aufnahme nötig ist. Mit langer Exposition und schwachem Strome arbeitet man viel besser — wenn das Objekt ruhig liegt — als mit starkem Strom und kurzer Exposition.

II. Man schütze seine Röhren unter allen Umständen vor der Schließungsinduktion, den schädlichen in verkehrter Richtung hindurchgehenden Induktionsstößen, die sich durch unregelmäßige, fluoreszierende Ringe und Flecke in der Röhre sichtbar machen. Solange diese Schließungsinduktionserscheinungen hauptsächlich bei Instrumentarien mit großen Funkenlängen, sich zeigen, ruiniert man die Röhren. Man sollte lieber gar nicht arbeiten, sondern ein Instrumentarium nicht benutzen, so lange sich die Schließungsinduktion stark geltend macht.

III. Hat man einer Röhre mit Villard'scher Regenerierung Gas zugeführt, so benutze man sie nicht gleich wieder, sondern lasse sie einige Zeit (eine Stunde) ruhen, wenn es geht.

IV. Alle Methoden, Röhren durch Vakuumänderung härter zu machen, — wozu auch das beliebte Verkehrtschalten gehört — vermeide man möglichst.

B.

Mittel zur Unterdrückung der Schliessungsinduktion.

Über die Schädlichkeit der Schließungsinduktion ist in diesem Buche an verschiedenen Stellen die Rede gewesen. (Vergleiche 25, 32, 65, 74, 79). Die Störungen lassen sich kurz in folgenden Punkten zusammenfassen. 138. Schädlichkeiten der Schließungs-Induktion.

1. Die Schließungsinduktion erzeugt an verschiedenen Stellen der Röhre X-Strahlen und beeinträchtigt dadurch die Zentralprojektion.

2. Die Schließungsinduktion beeinträchtigt die Lebensdauer der Röhre unmittelbar.

3. Die Schließungsinduktion kann zu einer spontanen Vernichtung der Röhre führen, da sie die Antikathode sehr stark erhitzt, wobei unter Umständen Gas von ihr austritt.

4. Die Schließungsinduktion zerstäubt das Antikathodenmetall und führt hierdurch ein sehr rasches Härten der Röhre herbei.

Deshalb ist es eine der wichtigsten und elementarsten Voraussetzungen des rationellen Betriebes einer Röntgenstation, die Röntgenröhre von Schließungsinduktion frei zu erhalten. Die Gefahr großer Schließungsinduktion liegt, wie bereits früher erwähnt, besonders nahe bei Betrieb mit elektrolytischem Unterbrecher, bei Anschluß an Gleichstrom von 110 und mehr Volt Spannung, bei Benutzung von Induktorien großer Funkenlänge, unabhängig davon, ob diese große Funkenlänge nun von zu großer sekundärer oder zu geringer primärer Windungszahl herrührt. In all diesen Fällen wird die Anwendung von Mitteln zur Unterdrückung dieser Schließungsinduktion wichtig oder unerläßlich sein.

Unerläßlich ist sie dann, wenn die Schließungsinduktion sich in der Röhre deutlich durch Flecken kennzeichnet. Diese fluoreszierenden Flecken an der Glaswand entsprechen naturgemäß den Formen der Anode und Antikathode. Man bemerkt einen stark fluoreszierenden Fleck häufig direkt gegenüber der Antikathode auf der Glaswand*) oder man sieht ringförmige Gebilde, die von einer scheibenförmigen Hilfsanode ausgehen, infolgedessen mit ihr konzentrisch sind. Ist die Antikathode mit einem Metallklotz hinterlegt, so zeichnet der Metallklotz Ringe und Streifen auf die Glaswand. Manchmal sieht man auch den dunklen Schatten 139. Symptome der Schließungsinduktion.

*) Bei Röhren, deren Antikathode mit einem Rande oder Mantel umgeben ist, rührt dieser Fleck teilweise von „reflektierten“ Kathodenstrahlen (s. a. 24, 128) her.

der Antikathode von der Hilfsanode aus an die Glaswand projiziert. Das alles sind Symptome der Schließungsinduktion.

Nicht zu verwechseln mit der Schließungsinduktion sind Leuchterscheinungen, die bei alten harten Röhren auftreten und wohl in statisch-elektrischen Erscheinungen ihre Ursache haben. Es sind eigentümliche, in der Regel kleine, manchmal ein wenig sich verschiebende Leuchtflecken, die sich oft am Kathodenhals oder auch an anderen Stellen der Glaswand hinziehen und zuweilen bei starker Belastung der Röhre verschwinden. Sie sind leicht daran zu erkennen, daß zwischen ihrer Form und der Gestalt von Hilfsanode und Antikathode kein ursächlicher Zusammenhang besteht.

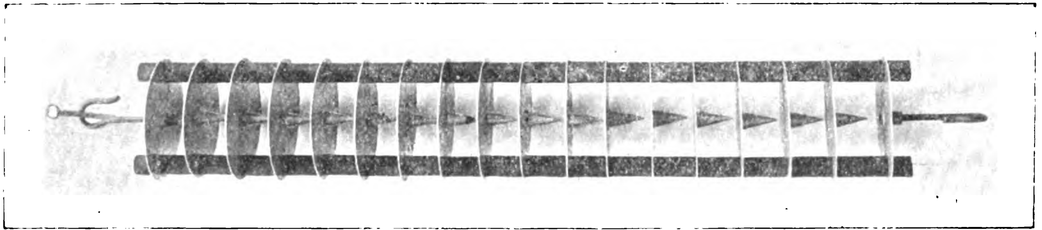
Die Lebensdauer einer Röntgenröhre kann bei entsprechendem Volumen und richtiger maßvoller Belastung mehrere 100 Aufnahmen und Durchleuchtungen aushalten. In dem Augenblick indessen, wo die Schließungsinduktion sich stark geltend macht, wird die Lebensdauer auf ein zehntel, ein zwanzigstel oder noch weniger herabgesetzt, nicht selten, daß Röhren nach zwei- bis dreimaliger Benutzug durch Schließungsinduktion verdorben sind.

140. Schließungsinduktion als „rückläufige" Bewegung. „Ventile". Das Funkenventil von Dessauer.

Das Charakteristische der Schließungsinduktion ist, daß sie durch den Stromkreis, Sekundärspule + Pol, Hochspannungsleitung, Anode und Antikathode, evakuierter Raum, Kathode, Hochspannungsleitung, — Pol — in umgekehrter Richtung hindurchgeht, also bei der Anode und Antikathode austritt, bei der Kathode eintritt. Man kann von einer rückläufigen Strombewegung sprechen. Solche störende rückläufige Bewegungen kommen in anderen Gebieten der Technik häufig vor, und es gibt eine besondere Gruppe von Apparaten, die zur Verhinderung rückläufiger Bewegungen bei der Dampfmaschine, bei der Wasserleitung, bei Luftdrucksystemen dienen. Die Technik bezeichnet solche Apparate als Drosselklappen, Drosselvorrichtungen oder Ventile.

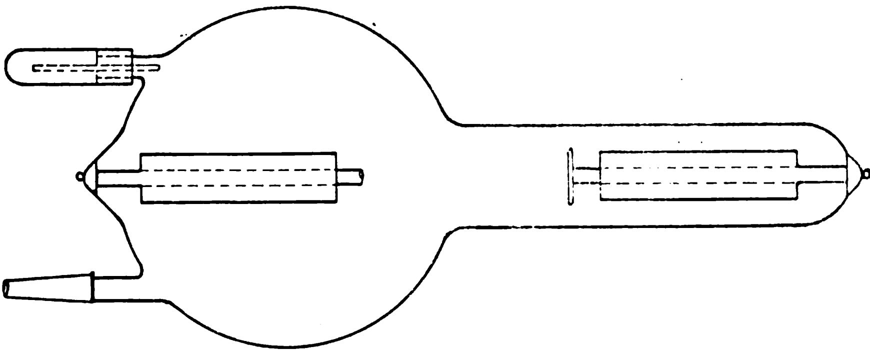
Mittel zur Unterdrückung der Schließungsinduktion sind Ventile für Elektrizität, so eingerichtet, daß der Strom sie möglichst nur in einer Richtung passieren kann, während er in umgekehrter Richtung gehemmt, unterdrückt wird. Eine einfache Vorrichtung dieser Art besteht in der Einschaltung einer Luftstrecke mit Spitze und Scheibe als Elektroden. Hochgespannte Elektrizität geht leicht von einer positiven Spitze durch eine Luftstrecke zu einer negativen Scheibe, sehr schwer umgekehrt. Man kann also ein solche Spitze und Scheibe in den Stromweg der Röhre derart einschalten, daß die Öffnungsinduktion gut hindurch geht, die Schließungsinduktion Widerstand findet. Besser als eine einfache Funkenstrecke ist das Funkenventil, das auf einer Kombination (Serienschaltung) von mehreren derartigen Funkenstrecken besteht. (Fig. 65.)

Die beste bekannte Vorrichtung zur Unterdrückung der Schließungsinduktion wurde von Gundelach erfunden und beruht auf der negativen Ladungswirkung der Kathodenstrahlen. Da Kathodenstrahlen (vergleiche Teil I 18) selbst negativ geladene Teilchen (Elektronen) sind, so werden sie von negativ geladenen dicht benachbarten Flächen abgestoßen. Davon macht ja auch die Konstruktion der Idealröhre Gebrauch. 141. Die Drosselröhre nach Gundelach.



Figur 65.

Gundelach benutzt ein Entladungsrohr von sehr ungleichen Teilen, deren jeder eine langgestreckte Elektrode enthält. Der eine Teil des Entladungsrohres ist eine weitbauchige Kugel, der andere



Figur 66.

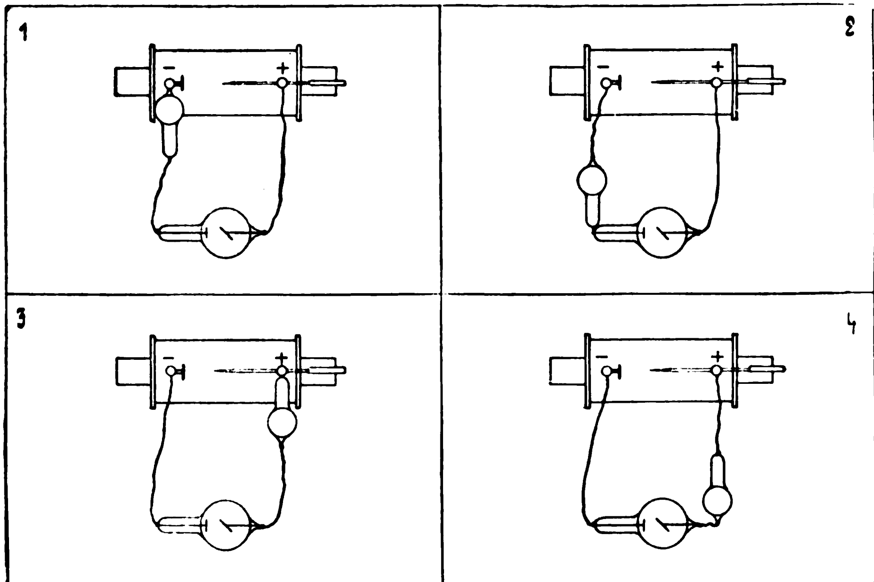
Teil ein ganz enges Glasrohr. Durch ein solches Entladungsrohr, das bis zum Kathodenstrahlen-Vakuum entleert ist, geht der Strom überwiegend nur in einer Richtung hindurch.

Er passiert nämlich dann, wenn er an der freistehenden Elektrode im kugelichen Röhrenteil austreten kann. Soll er umgekehrt passieren, so würde die vom engen Glasrohr umschlossene

Elektrode Austrittsort, Kathode, und die unmittelbar gegenüberstehende Glaswand würde stark negativ elektrisch, dadurch wäre die Kathodenstrahlenbildung sehr erschwert. Die richtigen Schaltungen der Drosselröhre zeigt Fig. 67.

Die Drosselröhre wirkt ebenso wie das Funkenventil nicht unbedingt, das heißt, sie unterdrückt die Schließungsinduktion nicht vollkommen. Sie wirkt ihr nur stärker entgegen als den im richtigen Sinne tendierenden Impulsen. Ist die Schließungsinduktion sehr hochgespannt, dann überwindet sie den Widerstand einer solchen Ventilvorrichtung und schädigt die Röhre demnach.

Man kann zwei und mehrere Ventilvorrichtungen in Serien schalten, um ihre Wirkung zu erhöhen. Ebenso kann man bei starkem Stromdurchgang zwei und mehrere Drosselröhren parallel schalten.



Figur 67.

Die Drosselröhren unterliegen einer Abnutzung, die um so größer ist, je höher gespannte Schließungsströme durch sie hindurchgehen. Bei mäßiger Schließungsinduktion halten die Drosselröhren 2 oder 3 Röntgenröhren aus und sparen sich selbst durch Verlängerung der Lebensdauer der Röntgenröhren mehrfach heraus.

Neuere Konstrukteure versuchten durch Verlegung der Ventilvorrichtung in die Röhre selbst die unabhängige Drosselröhre zu

sparen und die sogenannte schließungsfreie Röntgenröhre zu schaffen. (Bauer, Gundelach und andere.) Man kann das in der Weise bewerkstelligen, daß man die Anode oder Antikathode der Röhre derartig eng mit isolierenden Materialien umschließt, daß Kathodenstrahlen bei verkehrtem Stromdurchgang an ihnen nur schwer auftreten können. Dabei muß aber folgendes wohl bedacht werden: Wenn Antikathode und Anode miteinander verbunden sind, dann nützt es nichts, die eine der beiden zu umkleiden. Die Schließungsinduktion wird dann einfach an der andern nichtgeschützten Stelle eintreten. Benutzt man aber nur die Hilfsanode ohne Verbindung mit der Antikathode, so wird aus den im vorhergegangenen Kapitel näher dargelegten Gründen (128) der Strahlenausgangsfleck leicht unruhig, das Bild unscharf. Zweckmäßiger bliebe es dann, die Antikathode allein zu benutzen. (Schließungslichtfreie Röhre von Gundelach).

Jedenfalls ist die Vervollkommnung der Entladungskurve, insbesondere die Unterdrückung der Schließungsinduktion eine der wichtigsten Aufgaben der Röntgentechnik. Die Schließungsinduktion im elektrischen Teile des Verfahrens und die Sekundärstrahlenbildung im Untersuchungsverfahren sind die beiden wesentlichen Schädlinge, welche die Methodik der Differenzierung von Dichtigkeitsunterschieden beeinträchtigen und damit dem Ausbau des Röntgenverfahrens hinderlich sind.

---

4. Kapitel.

Technik des Aufnahmeverfahrens.

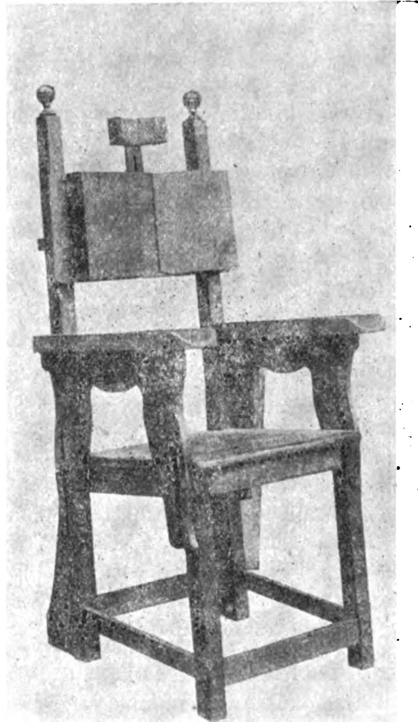
Von Dr. B. Wiesner.

142. Röntgenzimmer. Vor der Besprechung der Aufnahmetechnik wäre die ungefähre Ausstattung eines Röntgenzimmers zu beschreiben, wobei vor allem dem Bedürfnis des Nichtspezialisten Rechnung getragen werden soll. Es wird deshalb bei der Beschreibung auf eine möglichste Vereinfachung der Einrichtung und tunlichste Vermeidung größerer kostspieliger Hilfsapparate Rücksicht genommen werden. Bei entsprechender Übung und Geschicklichkeit lassen sich auch mit einfachen, oft primitiven Hilfsmitteln in radiographischer Hinsicht die besten Resultate erzielen.

Der Raum, in dem die Aufnahmen vorgenommen werden sollen, muß gut verdunkelt werden können, da den Aufnahmen in vielen Fällen eine orientierende Durchleuchtung vorangehen muß, und da eine exakte Röhrenprüfung nur im Dunkelzimmer vorgenommen werden kann. Die Wände und die Decke müssen dunkel (rot) und matt gestrichen oder tapeziert sein.

143. Instrumentarien. Von den Apparattypen eignen sich am besten für das Sprechzimmer die Aufmachungen in Form einer Wandtafel, weil diese Art am wenigsten Platz beansprucht. Die Wandtafel muß, falls man nicht einen rollbaren Schalttisch zur Verfügung hat, so angebracht sein, daß man bequem, ohne an den Aufnahmetisch zu stoßen, an sie herankommen kann zur Einstellung und Regulierung während der Aufnahme, und daß man mit Berücksichtigung der Kabellänge unter entsprechender Verschiebung des Aufnahmetisches von allen Körperregionen eine Aufnahme machen kann. Die Wandtafel wird also am besten in der Mitte einer langen Wand ca. 1.50 m vom Boden weg angebracht sein. Bei Akkumulatorenbetrieb wird man die Akkumulatoren unterhalb der Wandtafel an den Boden stellen. Bei Starkstrombetrieb mit Wehneltunterbrecher wird man den Unterbrecher wegen seines lästigen Geräusches in einem Raum außerhalb des Sprechzimmers (Vorplatz) unterbringen.

Als Aufnahmetisch kann jeder Tisch von ungefähr 2 m Länge, eventuell mit aufstellbarem Kopfteil verwendet werden; auch die 3teiligen, zu einem geraden Tisch aufklappbaren Untersuchungsstühle eignen sich hierzu. Man muß darauf achten, daß der Auf- 144. Hilfsapparate.



Figur 68.

nahmetisch fest auf den 4 Füßen steht, damit ein Wackeln bei der Aufnahme ausgeschlossen ist.

Wer häufig Brustaufnahmen und Schädelaufnahmen machen muß, wird nicht gut ohne einen sogenannten Aufnahmestuhl (siehe Figur 68) auskommen.

Als Röhrenhalter dient entweder ein beweglicher Wandarmhalter oder ein transportables Röhrenstativ.

Die Röhren bewahrt man in einem an der Wand zu befestigenden Wand-Röhrengestell auf. Bei der Kostbarkeit des Röhrenmaterials

wird auch der praktische Arzt nicht auf einen sichern Aufbewahrungsort für seine Röhren verzichten können und wollen.

Der Leuchtschirm soll eine Größe von ca. 24×30 cm haben und wird bei Tageslicht an einem staubsicheren Orte aufbewahrt (Schirmkasten mit Glasdeckel).

Notwendig sind ferner auch eine genügende Anzahl von Sandsäcken, desgleichen einige Binden zur Fixation und Kompression, mehrere Kissen, Bleiwinkel, Bleibleche und ein guter Blendenapparat mit Kompressionsvorrichtung.

Die photographischen Platten sind in einem Raum entfernt dem Aufnahmeraum aufzubewahren.

Zum Studium der Negative gebraucht man entweder einen sogenannten Lichtkasten oder man studiert die Negative bei Tageslicht mittelst folgender Vorrichtung:

Die Fenster des Röntgenzimmers besitzen Mattglasscheiben. In den einen der inneren zur Verdunkelung des Zimmers dienenden Fensterläden ist ein Satz von schwarzen Rahmen eingepaßt, in die man die gebräuchlichsten Plattengrößen einspannen kann. Man schließt die inneren Fensterläden, setzt das Negativ in den passenden Rahmen ein und kann nun bei dem durch die Mattscheiben erzeugten gleichmäßig diffusen Licht die Platte studieren.

Sehr zu empfehlen ist das Durchpausen der Negative in ihren wichtigsten Konturen auf angefeuchteten Mattscheiben oder Pauspapier. Auch muß erwähnt werden, daß die Beobachtung des Negativs mittelst eines guten Opernglases aus einiger Entfernung oft die Details klarer und übersichtlicher erscheinen läßt, als die direkte Besichtigung mit unbewaffnetem Auge.

Allgemeine Technik des Aufnahmeverfahrens.

145. Röhrenwahl.

Die Vorbereitung zur Aufnahme beginnt mit der Röhrenwahl. Als geeignetste Röhre ist für jedes Objekt die Röhre zu betrachten, deren Strahlen von nicht höherer Penetrationskraft sind, als daß sie eben noch durch das Objekt hindurchgehen, denn dann ist ihre chemische Wirksamkeit am größten, die schädliche Sekundärstrahlenbildung (siehe S. 160) am geringsten.

Man wird also vor der Aufnahme den aufzunehmenden Körperteil durchleuchten und am Schirmbild sich davon überzeugen, ob die Röhre die geeignete Penetrationskraft besitzt.

Diese Prüfung der Röhre am aufzunehmenden Patienten ist praktisch nicht immer bequem durchführbar. Man hält sich deshalb am besten an eine andere äquivalente Art der Prüfung, nämlich die Probedurchleuchtung der Hand des jeweils aufzunehmenden Patienten.

Es läßt das Durchleuchtungsbild der Hand des einzelnen In-

dividuums einen Schluß auf die Durchdringungsfähigkeit der übrigen Körperpartien zu, da die Knochen des Skeletts in einem gewissen Stärkeverhältnis zu einander stehen, so daß wir also nach dem Handbild die richtige Röhrenwahl auch für die übrigen Körperregionen treffen können. Bei der Wahl der Röhre nach dieser Vorschrift kommt man mit 3 verschiedenen Qualitäten bei der Aufnahme aus.

Qualität I. Die Knochen erscheinen nahezu ganz schwarz; es hebt sich die Markhöhle von dem kompakten Knochen nur schwach ab. (B. W. 4). *)

Qualität II. Die kompakte Knochensubstanz erscheint schwarzgrau, die Markhöhle grau. (B. W. 5.)

Qualität III. Die kompakte Knochensubstanz erscheint grauschwarz, die Markhöhle hellgrau. (B. W. 6).

Die Röhrenqualität I eignet sich zu Aufnahmen der Hände, Zähne, Kiefer. Wenn man bei Kindern, welche zu der Handprobe schwer zu haben sind, die Röhrenqualität zur Aufnahme bestimmen will, dann wird sich Röhre I, an dem Handbild eines Erwachsenen bestimmt, für die Aufnahme sämtlicher Extremitäten des Kindes eignen.

Die Röhrenqualität II eignet sich zu Aufnahmen von Thorax, Schädel, Fuß und Ellenbogen und zu den Steinaufnahmen.

Die Röhrenqualität III eignet sich zu Aufnahmen von Becken, Hüftgelenk, Wirbelsäulen und den übrigen Extremitäten-Partien.

Zur Bestimmung der Röhrenqualität besitzen wir außerdem einige Meßapparate, sogenannte Skiameter. Gegenüber der Taxation durch den Durchleuchtungsversuch besteht ihr Vorzug in der vielleicht rascheren Orientierung über die Röhrenqualität überhaupt, während die oben angegebene Röhrenauswahl den Vorteil der individuellen Anpassung für sich hat. Am gebräuchlichsten ist das Skiameter nach Benoist-Walter.

Hat man die richtige Röhre gewählt, dann geht man an die Lagerung des Patienten. Der Patient muß immer so gelagert werden, daß die interessierende Partie der Platte möglichst nahe zu liegen kommt. Die Lagerung muß dem Patienten möglichst bequem gemacht und der richtig gelagerte Körperteil gut fixiert werden, damit er bei der Aufnahme seine Stellung in keiner Weise verändern kann. Dazu dienen 1. Sandsäcke, 2. Bindezügel mit Sandsäcken armiert, 3. die sogenannte Schlitzbinde von Robinsohn, welche einen Bindenzügel darstellt, bei dem die Binde um das Glied herum und durch einen Schlitz im zulaufenden Bindeteil auf der Höhe der

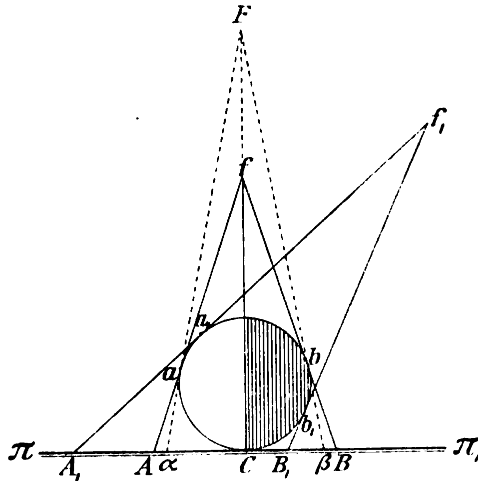
146. Lagerung des Patienten.

*) Die in den Klammern angegebenen Buchstaben und Zahlen bedeuten die den einzelnen Röhrenqualitäten ungefähr entsprechenden Skalanummern der Walter-Benoist'schen Skala.

Extremität hindurch geführt wird. Beide Bindenenden sind mit Sandsäcken armiert. Sonstige komplizierte, maschinelle Fixationsapparate sind entbehrlich.

Nach der Lagerung und absoluten Ruhigstellung des Patienten hat man die Röhre in die richtige Stellung zu Platte und Objekt zu bringen.

147. Stellung der Röhre. *) „Der zu radiographierende Körperteil soll im allgemeinen von jenem senkrechten Strahlenbündel getroffen werden, welches die kürzeste Verbindung zwischen Fokus (Antikathode) und Platte herstellt. Wir nennen im Anschluß an die Nomenklatur Jedliczka's, von der uns übrigens vielfach abzugehen notwendig erscheint, jene Art der Röhreneinstellung, bei welcher die Platte (sowie die zu ihr parallele Durchschnittsebene des Körperteils) von den Strahlen senkrecht getroffen wird, die zentrale (Fig. 69 *F*) im Gegensatze zur exzentrischen Röhrenstellung, bei welcher die den wichtigsten Punkt des Objektes abbildenden Strahlen die Platte in schiefer Richtung treffen (Fig. 69 f_1). Diese exzentrische Röhrenstellung kann in jenen Fällen, wo Extremitäten- oder Plattenverschiebung schwierig durchführbar ist, und wo dennoch gewisse Kontouren (z. B. Gelenkslinien) evident gemacht werden sollen, von Wichtigkeit sein, nur



Figur 69.
Zentrale *(F)* und exzentrische *(f)* Lampenstellung.
f f_1 F = Lampenform, π π_1 — Platte.

*) Dieser Abschnitt ist dem von Dr. Mohilla in der 1. Auflage dieses Buches bearbeiteten Kapitel über die radiographische Aufnahmetechnik der Extremitäten entnommen.

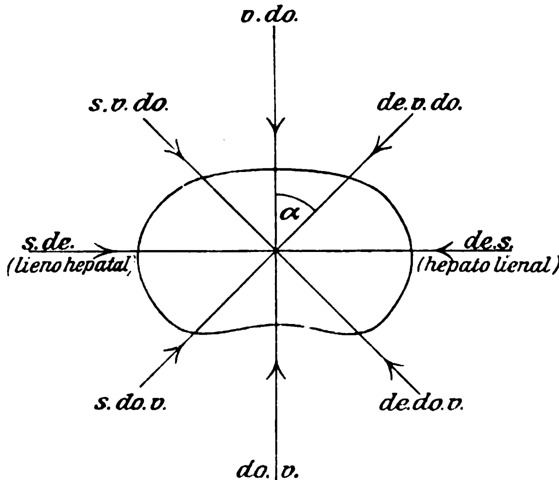
muß man sich dabei gegenwärtig halten, daß die der Platte entfernter gelegenen, von den Strahlen tangierten Kontouren verzerrt erscheinen werden, ein Umstand, der sich übrigens bei dem geringen Volumen der Extremitäten umsoweniger geltend machen wird, je weiter man die Röhre von der Platte entfernt. Auch der Unterschied zweier diametral entgegengesetzter Aufnahmerichtungen ist bei großer Röhrendifferenz aus dem gleichen Grund kein erheblicher.

Es erscheint nun behufs rascher Orientierung für die Aufnahmetechnik im allgemeinen, speziell aber auch für die der Extremitäten, sehr erwünscht, für die Strahlenrichtung eine einheitliche radiologische Nomenklatur aufzustellen, d. h. Bezeichnungen zu wählen, aus welchen die Aufnahmerichtung ohne weiteres entnommen werden kann, indem in der Bezeichnung die Reihenfolge der von den Strahlen durchdrungenen Körpergegenden enthalten ist (zum Beispiel ventro-dorsol: Röhre vor dem Leibe). Wir benennen somit bei Aufnahmen am Rumpfe eine Strahlenrichtung, welche parallel zur Körperachse (bei stehendem Körper senkrecht zur Horizontalebene) verläuft: 148. Radiologische Nomenklatur.

Von oben nach unten: kranio-kaudal,

umgekehrt: kaudo-kranial.

Aufnahmen in dieser Richtung werden am Stamme nur selten



Figur 70. Bezeichnung des Strahlengangs am Rumpfe.

v. do.: ventro-dorsal. *d. v.:* dorso-ventral.
s. de.: sinistro-dextral. *de. s.:* dextro-sinistral.
s. v. do.: sinistro-ventro-dorsal. *de. do. v.:* dexto-dorso-ventral.
de. v. do.: dextro-ventro-dorsal. *s. do. v.:* sinistro-dorso-ventral.

(Kiefer), an den Extremitäten nie gemacht; hingegen kann diese Benennung zur Bezeichnung jener exzentrischen Aufnahmen verwendet werden, bei welchen die Röhre in axialer Richtung, d. h. kranial oder kaudal verschoben wird.

Wir bezeichnen weiter:

Die sagittale senkrecht zur Frontalebene stehende Strahlenrichtung:

Von vorn nach rückwärts: ventro-dorsal (Fig. 70 v. do.)

Umgekehrt: dorso-ventral (Fig. 70 do. v.)

Die frontale, senkrecht zur Sagittalebene stehende Strahlenrichtung:

Von rechts nach links: sinistro-dextral (lieno-hepatal Fig. 70 s. de).

Umgekehrt: dextro-sinistral (hepato-lienal) Fig. 70 de. e.

Die schiefen Richtungen sind bestimmt durch den Winkel (Fig. 70 ∢ α), welchen sie mit der Ventro-dorsalen einschließen, und heißen:

Von rechts vorn nach links hinten: dextro-ventro-dorsal (Fig. 70 de. v. do.)

Umgekehrt: sinistro-dorso-ventral (Fig. 70 s. do. v.)

Von links vorne nach rechts hinten: sinistro-ventro-dorsal (s. v. do.)

Umgekehrt: dextro-dorso-ventral (de. do. v.)

Für die Extremitäten empfehlen sich einige kleine Abänderungen, und zwar für die obere Extremität, dieselbe herabhängend in Supinationsstellung gedacht. (vergl. Fig. 71.)

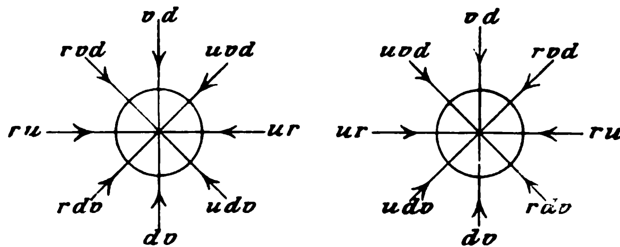


Fig. 71.

Linke und rechte obere Extremität, Bezeichnung der Strahlenrichtung.

vd: ventro-dorsal. *dv:* dorso-ventral.
ru: radio-ulnar. *ur:* ulno-radial.
rvd: radio-ventro-dorsal. *udv:* ulno-dorso-ventral.
uvd: ulno-ventro-dorsal. *rdv:* radio-dorso-ventral.

Von vorn nach rückwärts: ventro-dorsal (v. d.)

Umgekehrt: dorso-ventral (d. v.)

Seitliche Richtung: radio-ulnar (r. u.) und ulno-radial (u. r.)

Schiefe Richtung: ulno-ventro-dorsal (u. v. d.) und radio-dorso-ventral (r. do. v.), radio-ventro-dorsal (r. v. d.) und ulno-dorso-ventral (u. d. v.)

Dasselbe gilt für die ausgestreckte untere Extremität mit nach vorn gerichteter Patella, nur benennen wir die:

Seitliche Richtung: fibulo-tibial und tibio-fibular (s. Fig. 72).

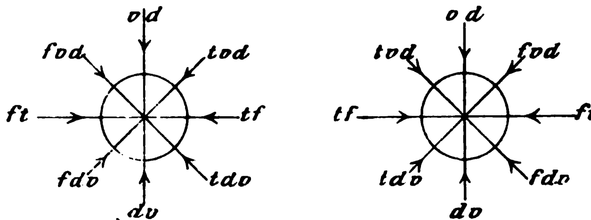


Fig. 72.

tf: tibio-tibula. *ft:* fibulo-tibial.
vd: ventro-dorsal. *dv:* radio-dorso-ventral.

Außerdem sprechen wir bei der Hand anstatt von der dorsoventralen und ventrodorsalen Richtung besser von der dorsopalmaren und palmodorsalen, beim Fuße von der dorsoplantaren und plantodorsalen. Abgesehen von den seitlichen Röhrenverschiebungen kommt für die exzentrischen Aufnahmen an den Extremitäten, entsprechend der kranialen und kaudalen des Rumpfes, noch die proximale und distale Röhrenverschiebung in Betracht, und dürfte es nach dem Vorhergesagten nicht schwer fallen, sich die übrigen Bezeichnungen für die Röhreneinstellung bei kombinierten excentrischen Aufnahmen abzuleiten."

Der Abstand der Platte von der Röhre (Antikathodenspiegel) soll je nach Objektdicke bei den Extremitäten 30—40 cent., bei Becken, Brust und Schädelaufnahmen 40—60 cent., betragen. Kleinere Entfernungen rufen eine schlechtere Projektion durch den zu divergenten Strahlengang hervor, größere erfordern zu lange Expositionszeiten.

Wir hätten nun noch eine für die Verbesserung der Qualität des Radiogrammes sehr wichtige Maßnahme zu besprechen, das Blendenverfahren. Es soll das jedoch in einem gesonderten Kapitel geschehen.

Nachdem alles zur Aufnahme vorbereitet, schreiten wir zur eigentlichen Aufnahme, zur Exposition.

Wie lange soll oder muß man exponieren? 149. Expositionszeit.

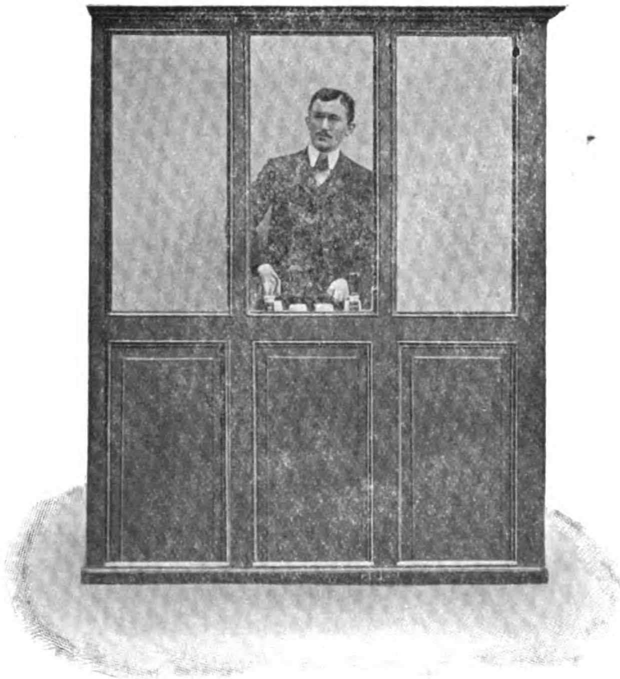
Die Expositionszeiten hängen außer vom Apparatentyp davon

ab, ob man Zeitaufnahmen machen kann, oder ob eine Aufnahme im Inspirationsstillstand oder eine Momentaufnahme vorzuziehen ist.

Man wird, wenn irgend möglich, Zeitaufnahmen machen, da dieselben gestatten, mit weicheren Röhren zu arbeiten, also Röhren, durch welche von vorne herein ein kontrastreicheres Bild garantiert ist, und weil wir bei der Zeitaufnahme unsere Röhren durch die geringere Belastung mehr schonen.

Wollen wir die Aufnahmezeit kürzer bemessen, so müssen wir zu etwas härteren Röhren, als oben (145) geschildert, greifen, und müssen die Röhre stärker belasten.

Während die stärkere Belastung schädigend auf die Lebensdauer der Röhren wirkt, bringt uns die verwendete härtere Röhre mehr Sekundärstrahlen, und damit von vornherein weniger kontrastreiche Radiogramme.



Figur 73. Schutzhaus von vorn mit Reguliertisch.

150. Zeitaufnahme. Die Expositionszeit richtet sich bei einer Zeitaufnahme nach der Stärke des Objektes. Im allgemeinen wird man bei Starkstrombetrieb und Wehneltunterbrecher bei mittlerer Belastung mit

Zeiten von 1/2—4 Minuten auskommen. Bei Akkumulatorenbetrieb (24—30 Volt) und mechanischem Unterbrecher ist die Expositionszeit entsprechend zu erhöhen (um 1/3—1/2).

Muß man Aufnahmen in kürzerer Zeit zu Wege bringen, so kann man die Aufnahmezeit unter entsprechender Variierung von Röhre (härter) und Belastung (stärker) herabdrücken.



Figur 74. Schutzschürze.

Thoraxaufnahmen macht man nach Hofmann in der Regel im Inspirationsstillstand, wobei eine Expositionszeit von 25—30—40 Sekunden eingehalten werden kann. 151. Aufnahmen im Inspirationsstillstand.

Man geht dabei in folgender Weise vor: Der Patient übt sich vor der Aufnahme im Einhalten des Atems auf der Inspirations-

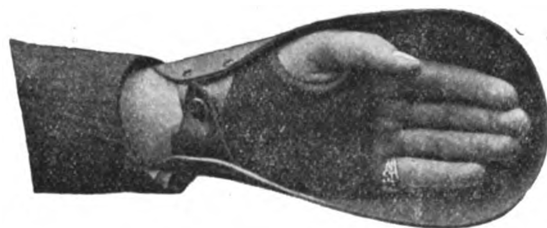
höhe. Bei der Aufnahme gibt er dann durch Erheben des Fingers den Moment an, wo er den Atem zu halten beginnt und ein weiteres Fingerzeichen zeigt uns an, wenn er nicht mehr weiter anhalten kann. Beim ersten Zeichen schaltet man ein, beim Zweiten schaltet man aus.

152. Momentaufnahmen. Bei sogenannten Momentaufnahmen, welche bei sehr unruhigen Patienten (Kindern) oder bei schwieriger, für den Patienten lästiger oder schmerzhafter Lagerung ausnahmsweise nötig werden können, kann man die Expositionszeit unter entsprechender maximaler Belastung der Röhre bis zu 1 Sekunde und weniger abkürzen.

Nach der Aufnahme entferne man zuerst die Röhre, dann die Platte, die Blende und die Fixationsapparate, bevor man den Patienten das Lager verlassen läßt.

Die Anlegung eines Röntgenjournals ist selbstverständlich.

153. Wiederholte Aufnahmen. Es ist nicht überflüssig darauf hinzuweisen, daß man mit Wiederholungen von Aufnahmen derselben Körperpartie am selben Tage oder in rascher Folge an verschiedenen Tagen eine gewisse



Figur 75. Handprotektor.

Vorsicht walten lassen muß, da wir den Patienten, wenn es sich um Aufnahmen mit längeren Expositionszeiten handelt, durch öftere Wiederholung derselben Aufnahme leicht einer Strahlendosis aussetzen, welche zu Verbrennungen der Haut führen kann.

154. Schutz des Arztes. Daß der Aufnehmende bei den Aufnahmen sich zum eignen Schutze möglichst aus dem Bereich der Strahlung zurückzieht oder sich durch eine Bleiglasschutzwand Bleischürze, Handprotektor (siehe Fig. 73, 74, 75) vor der Strahleneinwirkung schützt, ist besonders für den beschäftigten Radiologen notwendig.

Das Blendenverfahren.

Das Blendenverfahren hat in der Röntgentechnik eine so hervorragende Bedeutung erlangt, daß wir uns eingehender damit beschäftigen müssen. Die Röntgenstrahlen haben die Eigenschaft, in all den Medien, welche sie durchdringen, Glas, Luft, Körper, photographische Platte, eine diffuse Reflexion zu erleiden, sogenannte

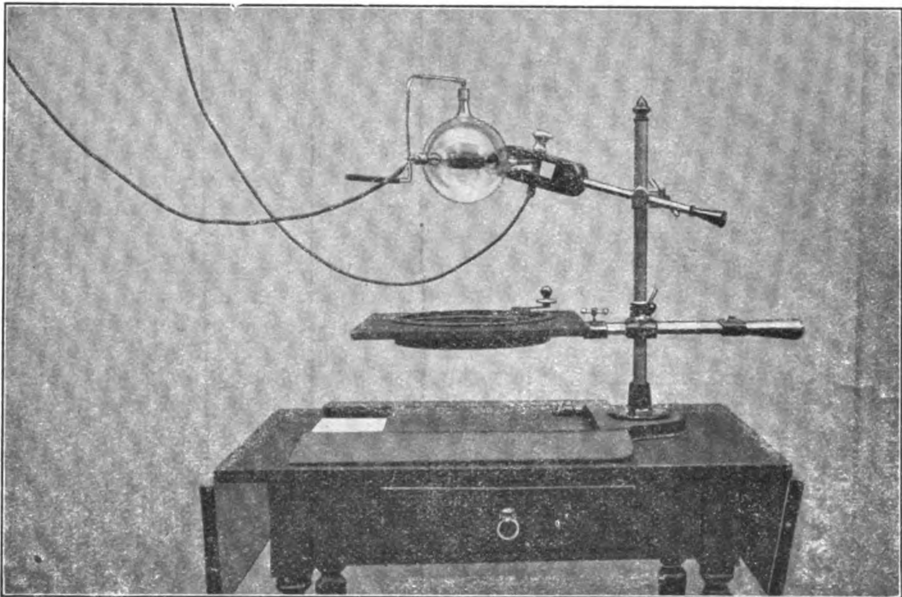
Sekundärstrahlen zu bilden. Diese Sekundärstrahlenbildung nimmt zu mit der wachsenden Durchdringungsfähigkeit der primären X-Strahlen und ist außerdem abhängig von der Natur der zu durchdringenden Medien; so bilden sich in Fett und Flüssigkeit reichlich Sekundärstrahlen, in Blei, Zink etc. weniger.

Die Sekundärstrahlenbildung ist ein sehr schädlicher Faktor bei den Röntgenaufnahmen sowohl als auch bei der Durchleuchtung.

Es ist nun die Aufgabe des Blendenverfahrens, den störenden Einfluß der Sekundärstrahlen nach Möglichkeit zu beseitigen.

Es wäre zunächst das Blendenverfahren bei der Aufnahme zu besprechen.

Eine Art des Blendenverfahrens besteht in der Verwendung der Blendenebene; man bringt zwischen Objekt und Röhre und 155. Blendenebene.



Figur 76.
Aufnahmeblende nach Dr. Wiesner und Dessauer mit Iriseinsatz.

zwar möglichst dicht an das Objekt eine Wand aus strahlenundurchlässigem Material und schneidet aus dieser ein entsprechend geformtes Stück aus, genügend groß, so daß die interessierende Körperpartie durch die Öffnung hindurch bestrahlt werden kann.

Wir benützen also zur Aufnahme nur einen Teil der von der

Röhre emittierten Strahlen. Auf diese Weise eliminieren wir die schädliche Wirkung der Sekundärstrahlen, welche von den so abgehaltenen primären X-Strahlen erzeugt würden.

Die Reduktion der Sekundärstrahlen wird um so größer sein, je kleiner die Blendenöffnung ist.

Es existiert eine ganze Reihe von Konstruktionen solcher Blendenebenen. Eine Form ist die Tischblende: eine in verschiedener Höhe einstellbare Tischplatte wird über das Objekt geführt und in diese Tischplatte werden Blendenplatten aus Bleiblech mit verschieden großem Blendenloch eingesetzt.

Eine andere Form ist die Tischschiebeblende. Bei ihr wird eine viereckige Blendenöffnung durch Schiebevorrichtung vergrößert oder verkleinert.

Eine sehr praktische Form ist die Irisblende. Hier ist die runde Blendenöffnung durch einen Handgriff beliebig groß oder klein zu machen. (Fig. 76.)

156. Schutzstoffe zum Abblenden. Statt solcher Konstruktionen kann man sich aber auch zur Abblendung einfacher Bleibleche mit entsprechendem Ausschnitt bedienen, welche man dem Körper direkt auflegt. Statt der Bleibleche mit Ausschnitt verwendet man auch paarige Bleiwinkel, durch deren Aneinanderlegen mit den offenen Winkeln man beliebige Größen von Blendenausschnitten erzeugen und der jeweilig aufzunehmenden Partie anpassen kann.

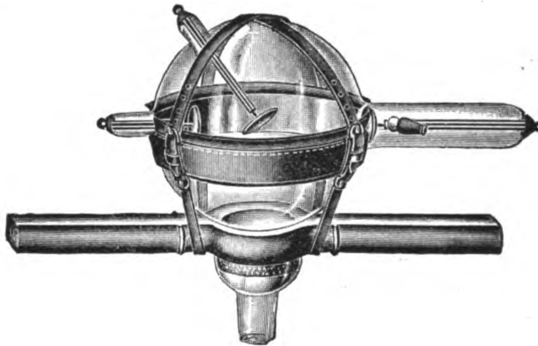
Da aber diese Bleibleche bei der Bestrahlung von der Röhre her elektrische Ladung erhalten, und diese bei dem Übergang auf den Körper, besonders wenn derselbe feucht ist, schmerzhaftes Brennen hervorruft, wodurch die ruhige Lage gestört wird, so muß man durch Anlegung eines Erdkabels an dem Bleiblech die Ladung bei der Aufnahme beseitigen. Ein anderes Mittel, den Patienten vor den elektrischen Entladungen zu schützen, besteht darin, daß man Bleiblech verwendet, welches durch einen Gummiüberzug isoliert ist (Holzknecht'sche Schutzblendenplatte), oder daß man statt Bleiblech den Müller'schen Schutzstoff oder die Alsberg'sche Schutzmasse verwendet.

Zu erwähnen ist ferner die Abblendung an der Röhre selbst. Die Röhre ist in einem strahlendichtem Kästchen eingeschlossen; dem Antikathodenspiegel gegenüber befindet sich eine variierbare Öffnung (Irisblende), durch welche ein Strahlenkegel von jeweils wünschenswertem Durchmesser austreten kann. Statt des Kästchens kann man auch die „Bleiglaskappe“ mit variablen Ansätzen verwenden (siehe Fig. 77).

Eine für manche Fälle gewiß sehr praktische Blendenform ist die Faszikelblende von Robinsohn. Dieselbe besteht aus einem aus einzelnen, jedes für sich beweglichen und verstellbaren Stäbchen

zusammengesetzten Rohr. Bei der Verwendung dieser Vorrichtung kann die untere Apertur des Rohres variiert werden in ihrer Form, so daß dieselbe z. B. bei der Aufnahme an einer Extremität beim Aufsetzen auf den Körperteil genau der unebenen Form desselben angepaßt werden kann. Das Faszikelblendenrohr ist natürlich in Verbindung mit einer weiteren Abblendung der übrigen neben dem Rohr verlaufenden X-Strahlen gebracht und kann gleichzeitig als Kompressionsblende (siehe unten) verwendet werden.

Während nun die beschriebenen Blendenapparate zur Aufnahme der Extremitäten genügen, reicht man in einer Reihe von



Figur 77.
Bleiglasblende.

Fällen, speziell bei Aufnahmen im Gebiete des Abdomens mit diesem einfachen Blendenverfahren nicht aus. Es ist bei Aufnahme der Lendenwirbelsäule, des Kreuzbeins, bei Nieren-, Blasen- und Gallensteinaufnahmen, besonders bei stärkeren Leuten die Sekundärstrahlenbildung so groß, daß trotz Oberflächenabblendung oft doch noch keine brauchbaren, diagnostisch verwertbaren Bilder erzielt werden können. Um nun auch in solchen Fällen noch zum Ziel zu gelangen, muß man sich neben der einfachen Abblendung noch des sogenannten Kompressionsverfahrens bedienen. Dasselbe besteht darin, daß durch eine geeignete Vorrichtung bei der Aufnahme der Dicken-Durchmesser der aufzunehmenden Körperpartie ad maximum vermindert und auf diese Weise nochmals eine ziemliche Menge von schädlichen Sekundärstrahlen eliminiert wird.

Man hatte dies früher schon auf primitivste Weise zu erreichen gesucht.

So hat man bei Aufnahme der Lendenwirbelsäule durch eine 157. Kompressionsverfahren.
Kompression mittels aufgebundener kästchenähnlicher Vorrichtung

(Boas) die Dicke der zu durchdringenden Körpermasse und damit die Sekundärstrahlenbildung im Körper zu vermindern gesucht. Comas-y Llaberia suchte bei Steinaufnahmen durch eine um Operationstisch und Leib des Patienten komprimierend herumgebundene Binde eine Reduktion des Sagittaldurchmessers zu erreichen.

Unsere ersten diesbezüglichen Versuche führten zur Konstruktion einer Vorrichtung, welche aus einer Grundplatte bestand, auf die der Patient gelagert wurde und einer Bleiplatte mit Blendenausschnitt und 2 Führungsstäben, welche durch die Grundplatte geführt und festgestellt werden konnten. Bei der Aufnahme wurde der Leib möglichst komprimiert mit der Blendenplatte und diese dann fixiert. Während nun später Albers-Schönberg die Kompression mit einem Rohr ausführte und sich dazu einen umfangreichen, kostspieligen Apparat konstruieren ließ, haben wir an dem Prinzip des ersten Versuches festgehalten und in die Blendenplatte, um eine intensivere lokalisierbare Kompressionsmöglichkeit herzustellen, ein ringförmiges Kompressorium einsetzen lassen, an dessen Stelle man auch ein kurzes Rohr mit Irisblende oder Revolverblende in der oberen Apertur verwenden kann. (Fig. 78.)

Weitere Konstruktionen einer Kompressionsblende wurden dann noch von Gocht, Beck, Holzknecht, Robinsohn und anderen angegeben.

Es ist jede Konstruktion brauchbar und empfehlenswert, welche die Möglichkeit einer möglichst schonenden Kompression mit einer exakten Abblendung der nicht komprimierten Körperpartien vereinigt.

Die von uns verwendete Kompressionsblende (Fig. 78) soll in folgendem in ihrer Konstruktion und ihrer Verwendung des näheren beschrieben werden:

Auf einer Grundplatte, welche mit einem Ausschnitt versehen ist, in welchen eine Kassette oder eine Vorrichtung zur Aufnahme von verschieden großen Platten in Einzelpackung paßt, ist an der einen Seite ein Stativ montiert, an dem eine zweite Platte parallel mit der Grundplatte verschiebbar und fixierbar sich befindet. Diese zweite Platte hat eine für X-Strahlen undurchlässige Bleidecke und in ihrer Mitte einen Kreisausschnitt von circa 10 cm Durchmesser.

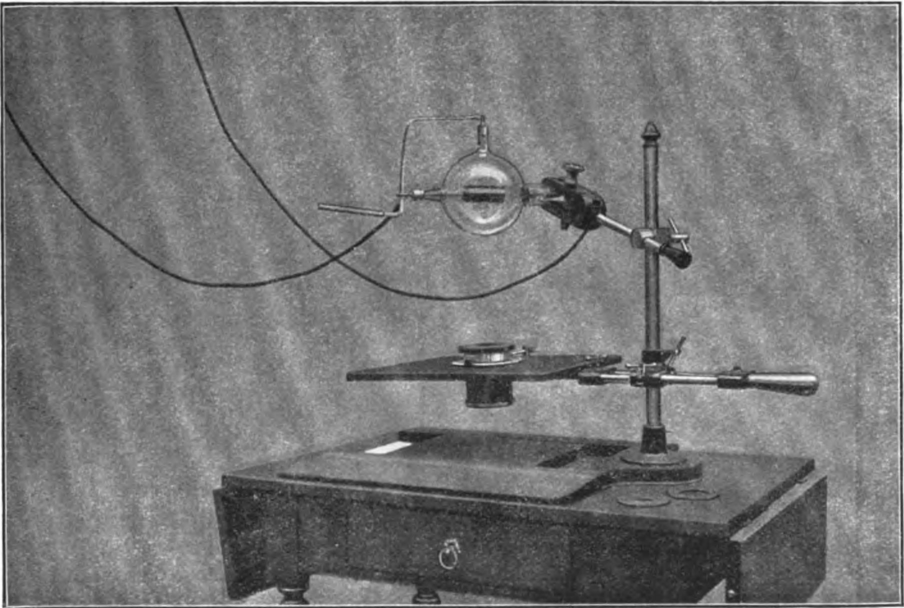
In diesem Ausschnitt steckt verschieb- und fixierbar ein kurzes, innen verbleites Rohr mit durch Irisblende oder durch Einlegen von verschieden großen Bleidiaphragmen veränderlicher oberer Apertur.

Diese zweite Platte, die eigentliche Blendenvorrichtung, ist außerdem noch um die Horizontalaxe am Stativ drehbar und kann

in einer doppelten Führung mittelst einer Handstange auch noch stativwärts oder entgegengesetzt verschoben werden.

Oberhalb der Blendenvorrichtung ist am Stativ eine verstellbare Boas'sche Klammer mit Röhrenhalter angebracht. Das Stativrohr ist für sich wieder am Fuße drehbar, so daß dasselbe gleichzeitig mit Blende und Röhre nach rechts und links gedreht werden kann. Mit dieser Blendenvorrichtung ist man in der Lage, die Luftstrahlen tunlichst abzuhalten und nur einen so großen X-Strahlenkegel zur Wirkung zu bringen, wie man ihn zur Erzeugung eines Bildes, das noch gute Orientierung zuläßt, nötig hat.

Das kurze Blendenrohr an der Blendenplatte dient da, wo es möglich ist, zur ausgiebigen Kompression der darunter liegenden Weichteile.



Figur 78.

Bei einer Aufnahme mit unserer Kompressionsblende geht man folgendermaßen vor:

Vor der Lagerung des Patienten werden Bodenplatte und Blendenplatte in eine parallele Lage zu einander gebracht und zwar so, daß der Blendenausschnitt zur Bodenplatte centriert ist;

für die rasche Auffindung dieser Ausgangsstellung sind Marken am Stativrohr angebracht.

Sodann wird die Röhre zu dem Blendenausschnitt der Blendenplatte centriert.

Nachdem die Blende so für die Aufnahme vorbereitet ist, öffnet man die Schraube am Stativ, dreht Blendenplatte und Röhre zusammen nach der Seite, schiebt die Platte unter, legt den Patienten in der oben angegebenen Weise auf die Bodenplatte, wobei man die richtige Lagerung nach oben oder unten auf dem Tisch dadurch erreicht, daß man den Patienten so weit nach oben oder unten schiebt, daß die blau markierte Stelle der Bauchhaut in eine Linie fällt, welche parallel zur Bodenplatte rechtwinklig vom Stativrohr ausgehend gedacht ist. Nun dreht man Blendenplatte mit Röhre wieder herein bis zu der angegebenen Marke am Stativ, so daß die Zentrierung eingehalten ist und läßt die Blendenplatte herab auf den Leib, nimmt nochmals eine exakte Zentrierung der Bauchmarke zum Kompressorium vor und übt unter langsamem stetigem Druck die Kompression aus.

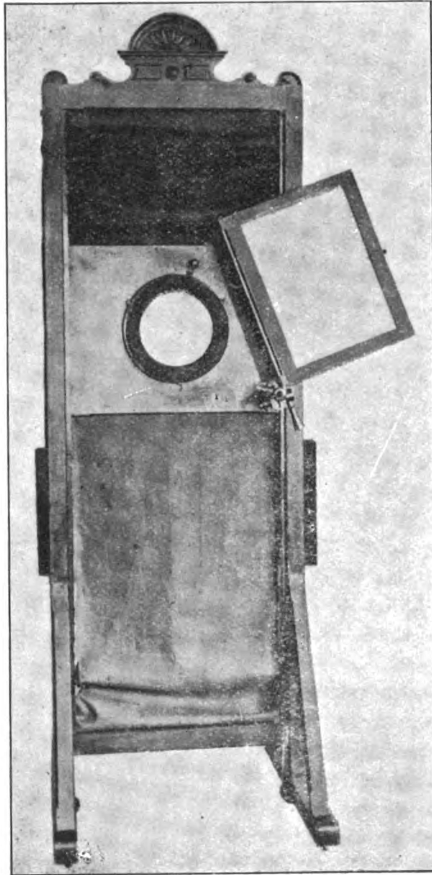
Nach der Aufnahme schiebt man zunächst das Kompressorium nach oben, nimmt die Leitungskabel ab, öffnet die Schraube am Stativfuß, dreht Röhre und Blendenplatte zusammen nach außen und entfernt die übrigen Fixationsmittel wie Sandsäcke etc. Nun zieht man die Platte hervor und läßt jetzt erst den Patienten das Lager verlassen.

Der Durchmesser eines Kompressoriums soll 8—10 cm. betragen. Bei der ersteren Größe bekommt man gut ca. 2 Wirbel, bei der zweiten Größe $2^1/_2$—3 Wirbel ins Gesichtsfeld. Die Kompression ist natürlich ausgiebiger möglich bei kleinerem Kompressorium als bei größerem. Bei Kompressorien mit größerem Durchmesser als ca. 10 cm geht, besonders bei Individuen mit schlaffen Bauchdecken, die Kompressionswirkung zum Teil verloren, weil die Bauchdecken sich mit dem Darm in das zu große Lumen des Kompressoriums hinein und in die Höhe drängen, ein Vorgang, der sich bei der Ringkompression sehr gut beobachten läßt, während er bei der Rohrkompression uns verborgen bleibt. Erwähnt muß noch werden, daß vor der Aufnahme mittelst Kompressionsblende der Darm des Patienten gut entleert sein soll.

158. Das Blendenverfahren bei der Durchleuchtung.

Das Blendenverfahren ist für die Durchleuchtung von nicht geringerer Bedeutung wie für die Aufnahme. Das Zustandekommen eines möglichst guten Schirmbildes hängt von der Verbesserung derselben Bedingungen ab, wie bei dem Aufnahmeverfahren — tunlichste Beschränkung der Sekundärstrahlenbildung, Möglichkeit der

Verwendung weicherer Röhren. Der Effekt der Blendenanwendung sind wie dort kontrastreichere, schärfere Schirmbilder. Die ganz bedeutenden Fortschritte in der radiologischen Diagnostik der Erkrankungen des Thorax und des Abdomens haben wir neben der Gewöhnung und Übung im Sehen und Deuten von Schirmbildern

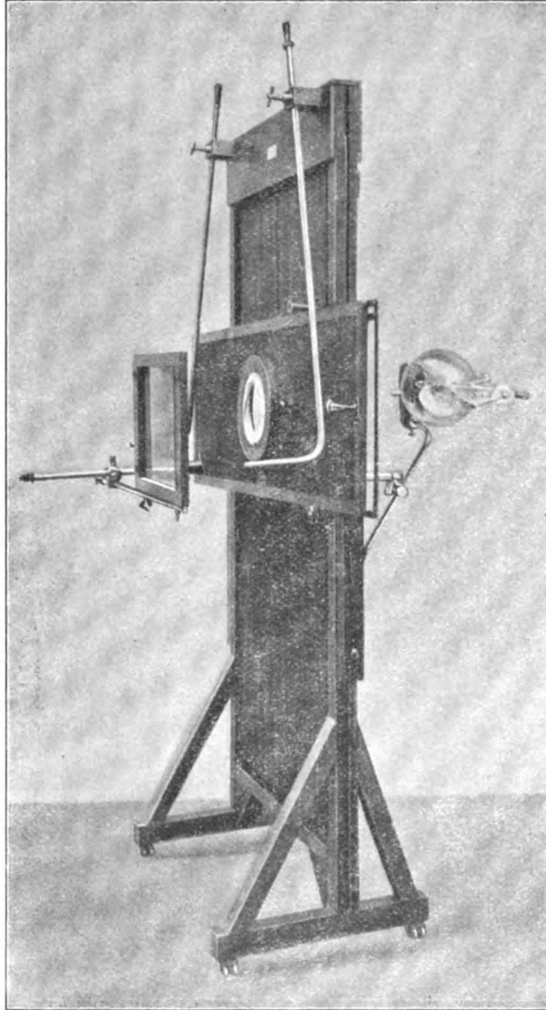


Figur 79.

in wesentlichem Grade der Einführung und Vervollkommnung des Blendenverfahrens zu verdanken.

Dem Zweck der Anwendung entsprechend hat man natürlich in der Konstruktion von Durchleuchtungsblenden andere Wege 159. Blendenanwendung im Stehen.

wandeln müssen. So hat Holzknecht die sogenannte Schwebeblende eingeführt, welche darin besteht, daß ein Bleiblech mit



Figur 80.
Magendurchleuchtungsblende nach Dr. Günzburg.

Ausschnitt äquilibriert aufgehängt ist und beliebig hoch und nieder durch einfachen Zug eingestellt werden kann.

Da es für gewöhnlich wünschenswert ist, daß Röhre und Blende zusammen und centriert zu einander bewegt werden können, hat später Kienböck die Röhre mit der Schwebeblende verbunden und die Blende selbst in ihrem Ausschnitt variabel gemacht.

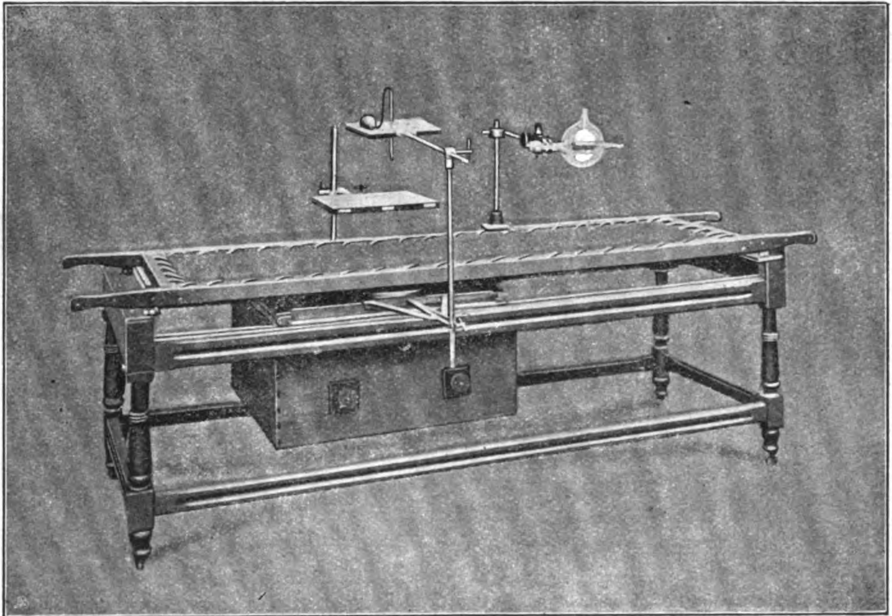
Wir haben uns ein transportables Blendenstativ konstruiert, welches in Form einer Schiebeblende (siehe Fig. 79) gestattet, Röhre und Blende centriert zu einander der Länge nach an dem Patienten unter Abblendung der übrigen Lichtstrahlen durch Stoffjalousien verschieben zu können. Der Blendenausschnitt ist durch Anwendung der Irisblendenform beliebig variabel. Die seitliche Verschiebung nimmt man mit dem Patienten selbst vor. Bei schrägen Durchleuchtungen stellt man den Patienten entsprechend schräg ein. Dieselbe Blendenkonstruktion ist natürlich auch mit einem Orthodiagraphen verbindbar. In jüngster Zeit haben wir, um auch die seitlichen Verschiebungen des Patienten zu umgehen, auf Veranlassung von Dr. Günzburg die Blende so konstruiert, daß die Blende nicht nur Verschiebungen der Länge nach, sondern in jeder Höheneinstellung auch noch seitliche Verschiebungen gestattet (Fig. 80).

Dem Bedürfnis, nicht nur im Stehen, sondern auch im Liegen mit einem guten Blendenapparat untersuchen zu können, hat Holzknecht durch die Angabe eines Blendenuntersuchungstisches, eines sogenannten Trochoscops, entsprochen. Ein solcher Apparat ist in der Ausführung der VEIFA-Werke folgendermaßen beschaffen: 160. Blendenanwendung im Liegen.

Der Apparat besteht in seinen Hauptteilen aus einem kräftigen Holzgestell, welches 2,2 m lang und 0,8 m breit ist, einem fahrbaren Wagen, in welchem die Röhre und das Röhrenstativ eingebaut ist und einer Auflagefläche in Form einer Tragbahre. Fig. 81 und 82 illustriert das Trochoscop in seiner kompletten Zusammenstellung.

Die Ausführung und Handhabung der einzelnen Teile ist folgende: Auf den beiden Verbindungsstücken der Längsseite des Holzgestelles sind zwei Eisenschienen aufmontiert. Auf diesen läuft mittels Rolle der Röhrenwagen. Dieser kann auf der ganzen Längsseite spielend leicht gefahren werden. Auf dem Röhrenwagen an Charnieren befestigt, ist die Irisblende angebracht. Mittels Kurbel, Schnecke und Spindel kann die Irisblende in senkrechter Richtung zur Längsseite des Trochoscops verstellt werden. Die Irisblende selbst kann man gleichfalls mittels Spindel und Kurbel vom kleinsten bis zum größten Durchmesser einstellen. Das Röhrenstativ steht mit der Irisblende in fester Verbindung. Mithin bleibt auch die Röntgenröhre, wenn von Anfang ordnungsgemäß eingestellt, stets in der richtigen, für die Irisblende in Betracht kommenden Lage.

Die Irisblende kann mit Röhrenstativ und Röhre in die Höhe geklappt werden, wie dies aus der Abbildung ersichtlich ist. Es ist hierbei nur die Tragbahre abzunehmen. Keine Schraube, Mutter u. dergl. sind zu lösen. Dieser Punkt, daß die Röhre ohne besondere Umstände jederzeit leicht frei gelegt werden kann, ist für

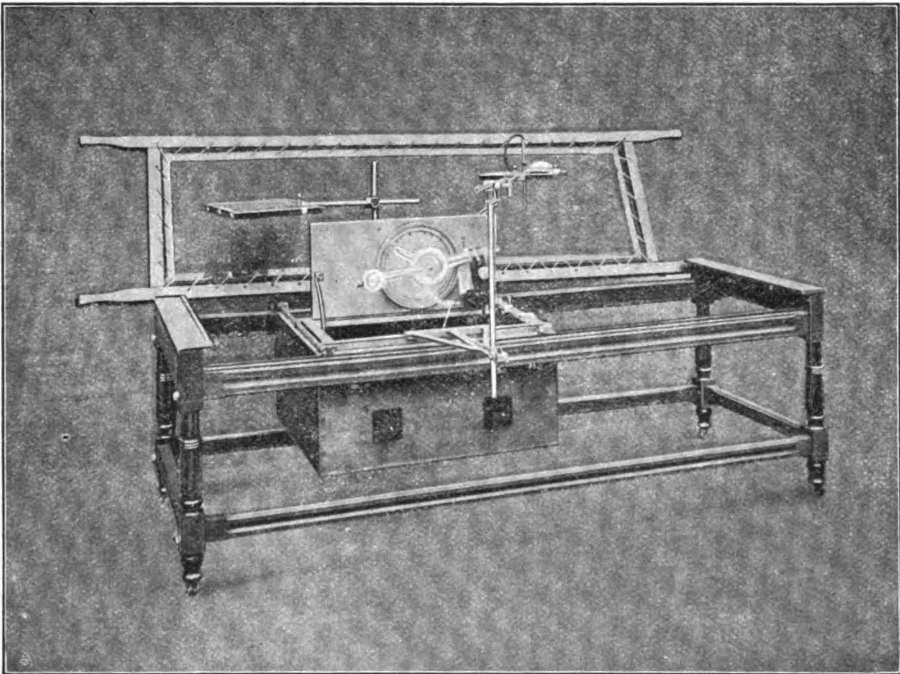


Figur 81. Trochoskop mit orthodiagraphischer Zeichenvorrichtung.

diesen Apparat von großer Wichtigkeit. Denn hierdurch ist der Arzt in der Lage, jederzeit sofort die Röntgenröhre zu prüfen oder eventuell auszuwechseln. Da die Bewegung des Wagens mit Blende und Röhre in zwei rechtwinklichen Koordinaten erfolgt und eine ungemein leichte ist, so ist man in der Lage, die beiden letzteren aufs präziseste so zu sagen auf jeden Punkt des Körpers einzustellen. Die Innenwände des Röhrenwagens sind mit Bleiblech ausgeschlagen, welches für Röntgenstrahlen undurchlässig ist. Hiedurch ist auch für den Schutz des Arztes Sorge getragen.

Der Transport des Patienten kann auf zweifache Weise erfolgen. Einmal kann dieser mit der Auflagefläche, welche als Tragbahre ausgebildet ist und mit dem Apparate nicht in fester Verbindung steht, vom Bette herausgeholt und auf das Trochoscop

gelegt werden. Zweitens ist die Tragbahre selbst noch auf dem Trochoscop in Schienen gelagert und kann in gewissen Grenzen bewegt werden, sodaß man außer der Einstellung der Röhre auch den Patienten, ohne diesen irgend wie zu belästigen, hin- und herbewegen kann.



Figur 82. Trochoskop geöffnet.

Soll das Trochoscop auch als Aufnahmetisch dienen, so kann die Tragbahre abgedeckt werden.

Das Trochoscop kann auch mit einer orthodiagraphischen Einrichtung versehen werden.

Spezielle Aufnahmetechnik.*)

Es sollen hier die wichtigsten typischen Aufnahmen beschrieben werden. Wie schon in der allgemeinen Aufnahmetechnik erwähnt wurde, ist es in manchen Fällen notwendig, von der typi-

*) In diesem Abschnitt ist die spezielle Aufnahmetechnik der Extremitäten von Mohilla der 1. Auflage z. T. umgearbeitet enthalten.

schen Aufnahme abzuweichen. In welcher Weise dies zu geschehen hat, ergibt sich von Fall zu Fall unter Berücksichtigung der anatomischen Verhältnisse von selbst.

Obere Extremität.

Hand und Handgelenk.

Hand und Handgelenk werden vorwiegend bei dorso-palmarem Strahlengang aufgenommen. (Fig. 83.)

Patient legt den Vorderarm und die Handfläche fest auf die Tischplatte. Fixation des Vorderarms durch Sandsäcke, bei zitternder oder etwas schwer zu streckender Hand Fixation der letzteren durch Bindenzügel mit Sandsäcken armiert. Zentrale Röhrenstellung.

Eine radio-ulnare oder ulnoradiale Aufnahmerichtung muß gewählt werden, wenn man Verschiebungen von Fragmenten oder luxierten Knochen der Hand oder des Vorderarms in senkrechter Richtung zur Flächendimension nachweisen will.

II
III
IV
V
Os metacarpale I
Os multangulum minus
Os multangulum majus
Os naviculare
Processus styloideus radii
Os capitatum
Os hamatum
Os triquetrum
Os pisiforme
Os lunatum
Processus styloideus ulnae
Radius
Ulna

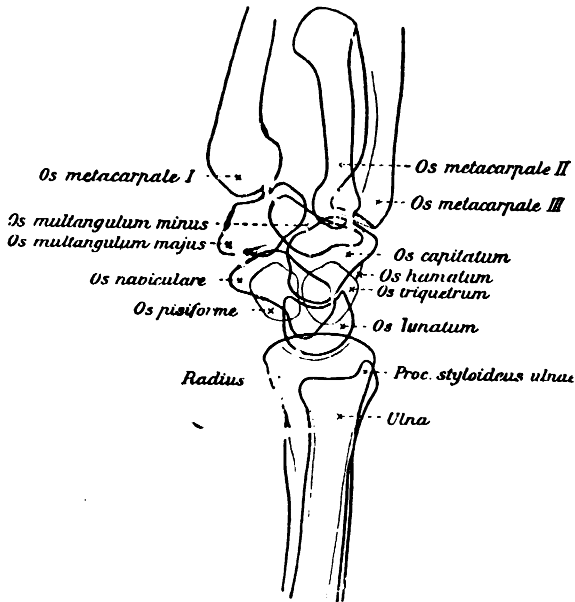
Figur 83.

Bei der radio-ulnaren Aufnahme (Fig. 84) liegt Ulna und äußerer Kleinfingerkante der Unterlage auf, Radius und Daumen sieht nach oben (halbe Supinationsstellung).

Bei der ulno-radialen Aufnahme sitzt der Patient so tief am Tisch, daß der ganze Oberarm flach aufzuliegen kommt; der Vorder-

arm liegt mit der radialen Seite der Unterlage auf. Die Ulna und innere Kante des kleinen Fingers sieht nach oben. (Ganze Pronationsstellung.)

Bei beiden Aufnahmerichtungen läßt man die Finger eine kleine Stützsäule umklammern, um eine ruhige Stellung zu erreichen.



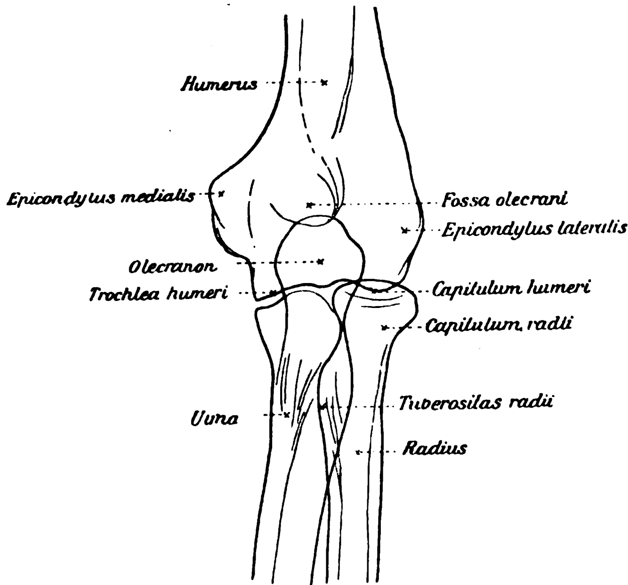
Figur 84.

Ellenbogen.

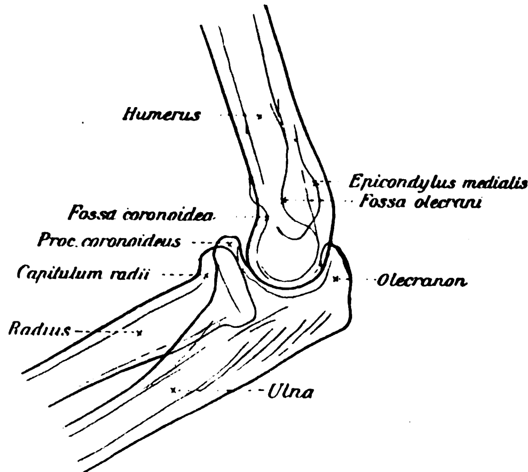
Am Ellenbogen macht man eine ventrodorsale (Fig. 85) und eine radioulnare (Fig. 86) Aufnahme. Die beigefügten schematischen Figuren zeigen, was jede der beiden Aufnahmen uns sichtbar macht.

Bei der ventro-dorsalen Aufnahme sitzt Patient wie bei der ulnoradialen Handaufnahme am Tisch und der ganze Arm liegt in Supinationsstellung der Unterlage auf. Gute Fixation ober- und unterhalb des Ellenbogens durch Bindenzügel oder Schlitzbinde.

Bei der radio-ulnaren Aufnahme sitzt der Patient so am Tisch, daß der Oberarm und Vorderarm in seiner ganzen Ausdehnung fest der Unterlage anzuliegen kommt. Der Arm liegt im Ellenbogen gebeugt mit dem Condylus internus der Platte auf. Der Vorderarm liegt in Pronationsstellung der Unterlage auf. Fixation durch Sandsäcke, Bindezügel etc. Centrale Röhrenstellung.



Figur 85.
Ventrodorsale Ellenbogenaufnahme.



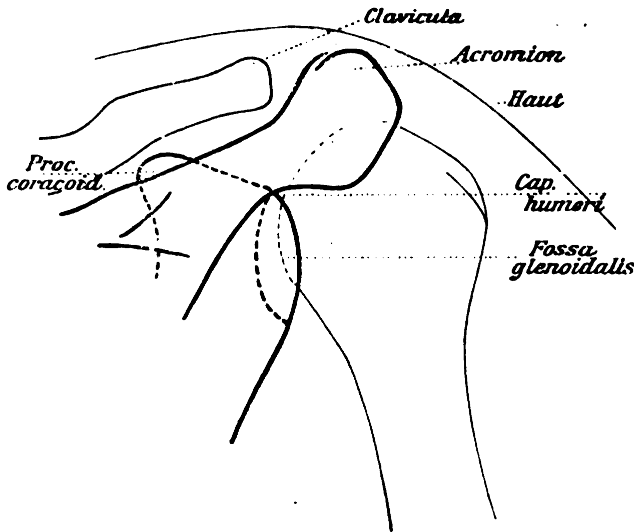
Figur 86.
Radioulnare Ellenbogenaufnahme.

Schultergelenk.

Die Schulter wird am besten im Aufnahmestuhl nach Holzknecht und Kienböck (Fig. 68) bei ventrodorsalem Strahlengang aufgenommen.

Der Patient sitzt auf dem Aufnahmestuhl und legt die Schulter dem Schulterkeil an; sodann rutscht er auf dem Sitz etwas nach vornen und stützt die Ellenbogen auf die Armstützen auf; dadurch wird die Schulter so weit vom Thorax abgehoben, daß die respiratorischen Bewegungen nicht mehr auf die erstere übertragen werden.

Die Röhre darf, wenn man ihr eine centrale Stellung geben



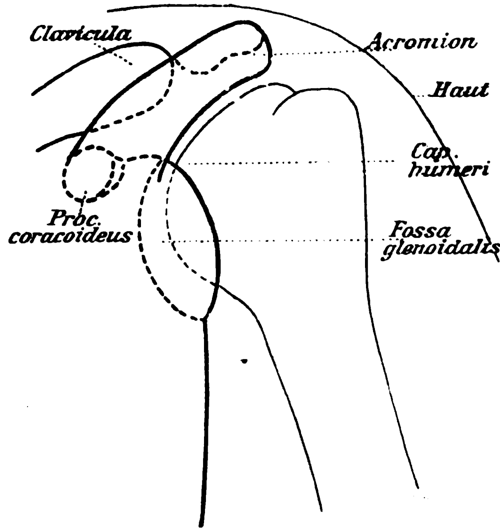
Figur 87.

will, nicht vor die Schulter gestellt werden, sondern muß fast vor das Sternum gestellt werden, wenn der Hauptstrahl senkrecht auf jene Ebene fallen soll, in der Humeruskopf, Pfanne und Scapulafläche liegen.

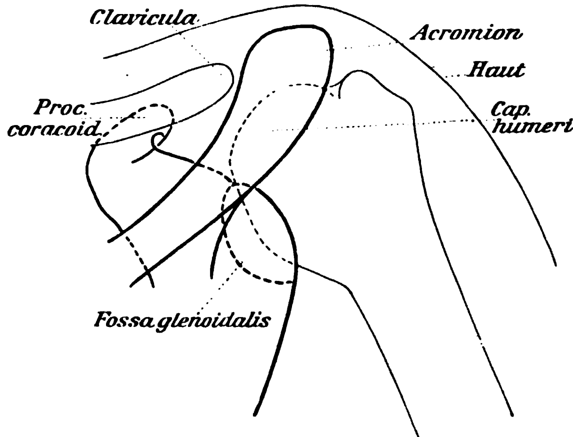
Was die Höhenstellung der Röhre anlangt, so müssen wir dieselbe bei einer centralen Aufnahme (Übersichtsaufnahme) etwas über Schulterhöhe einstellen. (Fig. 87.)

Will man bei der Aufnahme den Humeruskopf frei bekommen, unbedeckt vom Accromion, dann muß man von der beschriebenen centralen Stellung aus etwas nach oben mit der Röhre gehen (craniale Verschiebung Fig. 88).

Will man einen Einblick in die Articulatio acromio clavicularis bekommen, dann muß man die Röhre etwas nach unten von der centralen Stellung aus verschieben (caudale Verschiebung Fig. 89).



Figur 88.



Figur 89.

Die Abblendung bei Schulteraufnahmen geschieht am besten mit Bleiwinkeln, von denen der eine Schenkel um den Hals gelegt

wird, der andere über die Brust zu liegen kommt, der R-Winkel ist nach der Schulter zu offen.

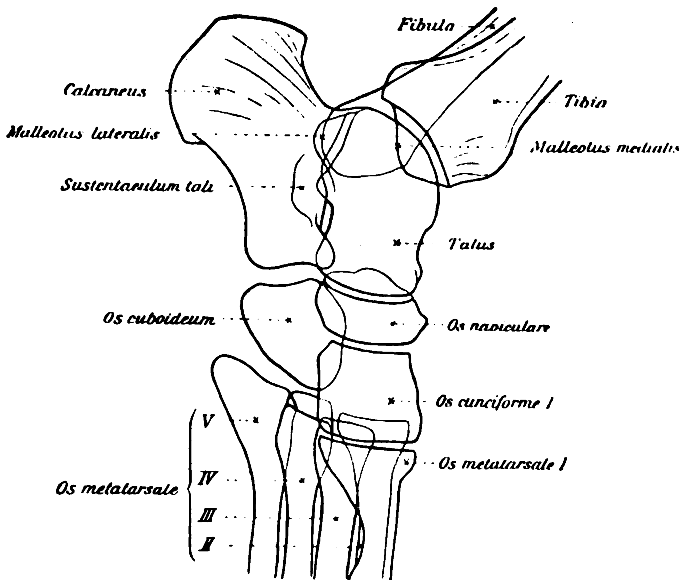
Humerus und die übrigen langen Röhrenknochen der Extremitäten.

Auch für den Humerus gilt die Notwendigkeit der Ausschaltung der respiratorischen Bewegungen. Dies geschieht entweder analog der Schulter oder der Ellenbogenaufnahme. Im übrigen sind hier, wie überall, je nach Befund ventrodorsale, radioulnare und umgekehrte, sowie alle schrägen Aufnahmen möglich. Das Gleiche gilt für die Aufnahmen des Femurschaftes und der langen Röhrenknochen des Unterarms und Unterschenkels. Nur muß bei letzterem dem Umstande, daß Tibia und Fibula nicht nebeneinander in einer Frontalebene liegen, durch entsprechende excentrische Aufnahmen Rechnung getragen werden, damit die Bilder der beiden Unterschenkelknochen nicht zur Deckung gelangen.

Untere Extremität.

Fuß und Fußgelenk.

Bei Aufnahmen im Gebiet des Fußes und Fußgelenkes sind folgende Aufnahmerichtungen gebräuchlich:



Figur 90.
Tibiofibulare Fußaufnahme.

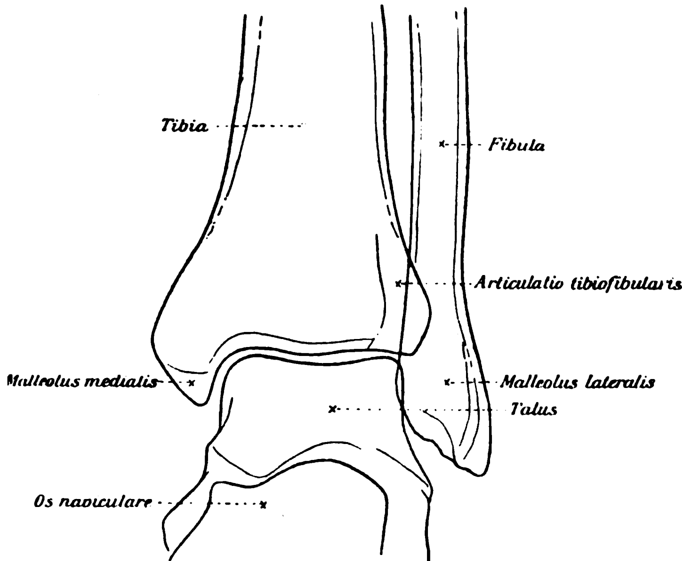
1. Die **dorsoplantare** Fußaufnahme.

Der Patient sitzt auf einem Stuhle und stellt den leicht vorgestreckten Fuß auf die Platte. Falls der Fuß nicht ruhig gehalten werden kann, was besonders bei nervösen Leuten und Kindern der Fall ist, sitzt der Patient auf einem auf den Tisch gestellten Stuhl und stellt den Fuß auf den Tisch. Die Röhre steht in centraler Stellung über dem Dorsum pedis. Eine mit Sandsäcken armierte Binde oder Schlitzbinde fixiert den Fuß auf der Tischplatte. Auch ist es gut, auf den Oberschenkel beschwerende Säcke aufzulegen.

2. Die **tibiofibulare** Aufnahme und

3. die **fibulotibiale** Aufnahme.

Je nachdem daran liegt, die fibulare oder die tibiale Seite des Fußgelenks deutlich auf die Platte zu bringen, wird man die zweite oder dritte Aufnahmerichtung wählen.



Figur 91.

Im ersten Falle liegt die betreffende Extremität bei gebeugtem Knie mit dem Condylus lateralis Femoris und dem Malleolus externus der Unterlage auf (Fig. 90).

Bei der fibulotibialen Fußaufnahme wird das entsprechende Bein auf eine erhöhte Unterlage gelagert, so daß Condylus internus und Malleolus internus fest der Unterlage aufliegen.

Um die Belastungsveränderungen des Fußgewölbes (bei beginnendem Plattfuß) beobachten zu können, muß man eine Aufnahme des betreffenden Fußes in fibulotibialer Richtung während der Belastung des Fußgewölbes durch das Körpergewicht, also im Stehen, machen können.

Dazu braucht man eine Vorrichtung, welche man in einfacher Weise sich folgendermaßen herstellen kann: an einem soliden Kistchen von entsprechender Größe wird an der Längsseite ein Brett so befestigt, daß zwischen diesem und dem Kistenboden ein genügend großer Falz vorhanden ist, um eine photographische Platte in Einzelpackung mit einer circa 2 mm dicken Bleiplattenhinterlegung einschieben zu können.

Der Patient stellt sich nun mit dem aufzunehmenden Fuß auf die so hergerichtete Kiste und nähert den innern Knöchel möglichst der eingeschobenen Platte, während er mit dem andern Fuß auf einem daneben geschobenen gleich hohen Kistchen steht.

Die Röhre steht mit dem Antikathodenspiegel in gleicher Höhe mit dem Kistenboden.

Um das Sprunggelenk (Fig. 91) zur Darstellung zu bringen, macht man eine ventro-dorsale Aufnahme im Liegen.

Patient liegt in Rückenlage mit der ganzen Extremität fest der Unterlage auf; Ober- und Unterschenkel werden durch Sandsäcke gut fixiert, der Fuß am besten gegen ein Fußbrett gestellt und das Fußgelenk durch eine über die Reihe ziehende mit Sandsäcken armierte Mullbinde festgestellt. Die Röhre wird central über dem Sprunggelenk eingestellt. (ev. fibulare Verschiebung wegen des Tibiofibulargelenks.)

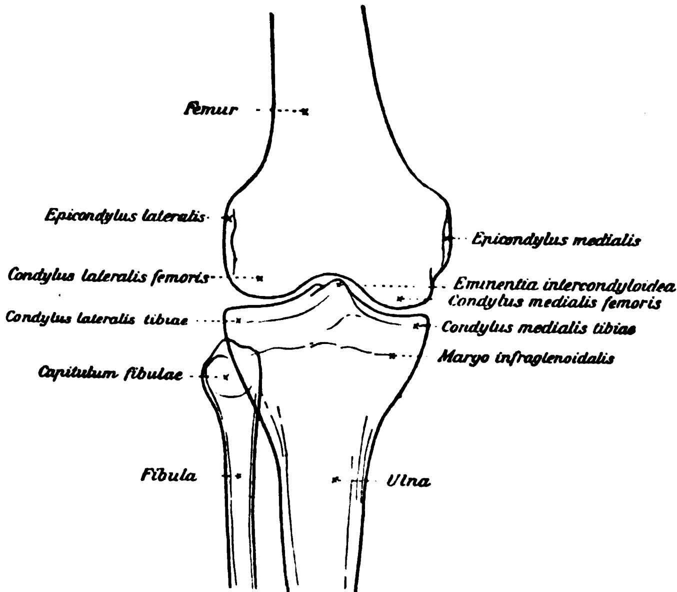
Eine weitere Aufnahme am Fuß wird zur Darstellung von Veränderungen am Calcaneus in der Weise gemacht (nach Holzknecht), daß man den Patienten in genügender Entfernung von einer Wand auf die Platte stellt und nun den Körper unter möglichster Beugung im Talocruralgelenk sich nach vorn überneigen und mit den Händen an der Wand stützen läßt. Die Röhre steht hinten senkrecht über dem Fersenhöcker.

Kniegelenk.

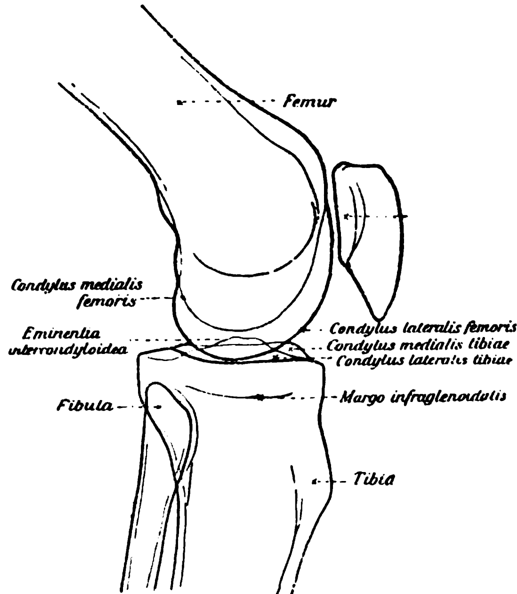
Beim Kniegelenk kommen drei Aufnahmerichtungen in Betracht:

1. Die ventrodorsale Aufnahme.

Der Patient liegt in Rückenlage mit gestreckten untern Extremitäten (Fig. 92). Fuß, Unterschenkel und Oberschenkel werden durch Sandsäcke gut fixiert, das Gelenk durch Bindezügel oder Schlitzbinde festgestellt. Um die Sekundärstrahlenbildung zu vermeiden, wird durch Irisblende das Kniegelenk abgeblendet oder



Figur 92.



Figur 93.

das andere Bein mit Bleiblech überdeckt und das aufzunehmende Bein ober- oder unterhalb des Kniegelenks ebenfalls mit Bleiblech abgedeckt.

Die Röhre steht central über der Mitte des Gelenks.

Will man einen Einblick in das Fibulotibialgelenk bekommen, dann verschiebt man bei der Aufnahme die Röhre lateralwärts um circa 40°; man macht also eine excentrisch-fibulo-ventro-dorsale Aufnahme.

2. die tibio-fibulare Aufnahme.

Das Knie (Fig. 93) liegt mit dem Condylus lateralis in beliebiger Beugestellung der Platte auf; desgleichen liegt der äußere Fußrand und der Malleolus externus der Unterlage fest auf, gerade so wie bei der tibio-fibularen Fußaufnahme. Ober- und Unterschenkel sind durch Sandsäcke gut fixiert. Bindenzügel oder Schlitzbinde über dem Gelenk. Abblendung, Röhrenstellung wie bei der ventro-dorsalen Aufnahme.

3. die fibulo-tibiale Aufnahme.

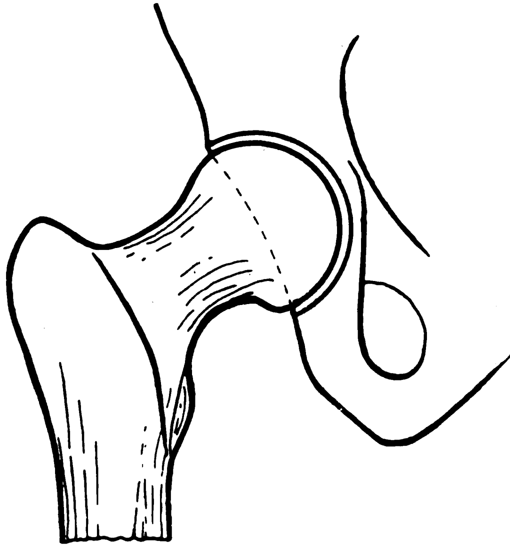
Patient liegt auf der gesunden Seite; das kranke Knie liegt mit dem Condylus medialis der Platte auf; am besten lagert man, wie bei der fibulo-tibialen Fußaufnahme, das Knie auf ein Holzkistchen von entsprechenden Dimensionen. Alle übrigen Aufnahme-Daten wie oben.

Becken und Hüftgelenk.

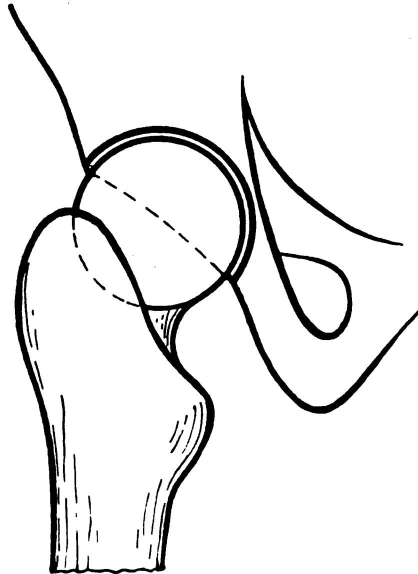
Becken und Hüftgelenk werden bei ventro-dorsalem Strahlengang aufgenommen. Ausnahmsweise wird man auch eine dorso-ventrale Strahlenrichtung wählen können, so z. B. wenn es sich um Veränderungen in der Nähe der Symphyse handelt. Während man von Kindern und magern oder ältern Leuten ganz gute, auch Strukturveränderungen erkennenlassende Totalaufnahmen machen kann, ist es bei stärkeren Objekten nötig, die aufzunehmende Partie sich besonders heraus zu blenden, eine Partialaufnahme zu machen.

Patient liegt in einfacher Rückenlage, Becken und Bein werden durch Bindenzügel und Sandsäcke, die Füße an einem Fußbrett gut fixiert, alles nicht interessierende gut abgeblendet. Wird das Bein so gelagert, daß der Längsdurchmesser des Fußes senkrecht zur Unterlage steht, so bekommt man die beste Übersicht über Schenkelkopf, Hals und Trochanter (Fig. 94); rotiert man das Bein nach außen, erscheint der Hals immer mehr verkürzt und vom Trochanter major verdeckt (Fig. 95).

Bei der Übersichtsaufnahme des Hüftgelenks, stellt man die Röhre über der Mitte des Poupart'schen Bandes ein.



Figur 94.
Hüftgelenk bei leichter Innenrotation des Beines.



Figur 95.
Hüftgelenk bei Außenrotation des Beines.

Clavicula, Sternum und Sternoclaviculargelenk.

Diese Körperteile werden immer bei dorsoventralem Strahlengang aufgenommen. Das Schlüsselbein nimmt man am besten im Aufnahmestuhl auf. Die der aufzunehmenden Seite entgegengesetzte Brusthälfte lagert man durch ein untergeschobenes Keilkissen höher und erreicht dadurch ein besseres Anliegen der ganzen Clavicula an die Platte. Die Röhre steht mitten zwischen Wirbelsäule in äußerem Schulterrand. Aufnahme im Inspirationsstillstand.

Sternum und Sternoclaviculargelenk kann brauchbar nur in einer schrägen Durchleuchtungsrichtung aufgenommen werden, weil nur in einer solchen Durchleuchtungsrichtung die betreffenden Gebilde vom Mittelschatten (Wirbelsäule und Gefäßschatten) isoliert und dadurch darstellbar werden. Man hat dabei natürlich immer mit einer Verzeichnung der Gebilde zu rechnen, so daß der Wert dieser Aufnahmen immer ein sehr bedingter ist.

Der Patient sitzt umgekehrt im Aufnahmestuhl, die Brust der Rückenlehne angedrückt, die Röhre steht R oder L hinten zwischen Wirbelsäule und Schulter, in der Höhe der betreffenden Sternalpartie.

Die genauere Einstellung wird mit dem Leuchtschirm ausprobiert. Aufnahme im Inspirationsstillstand.

Schädel.

A. Aufnahme der Schädelbasis.

Es soll nur die Technik der wichtigsten Schädelbasisaufnahmen besprochen werden, die Aufnahmen, mit denen der Chirurg in erster Linie auskommen wird. Es kommen da vorzugsweise von den typischen Aufnahmen nach Schüller und Robinsohn, folgende in Betracht:

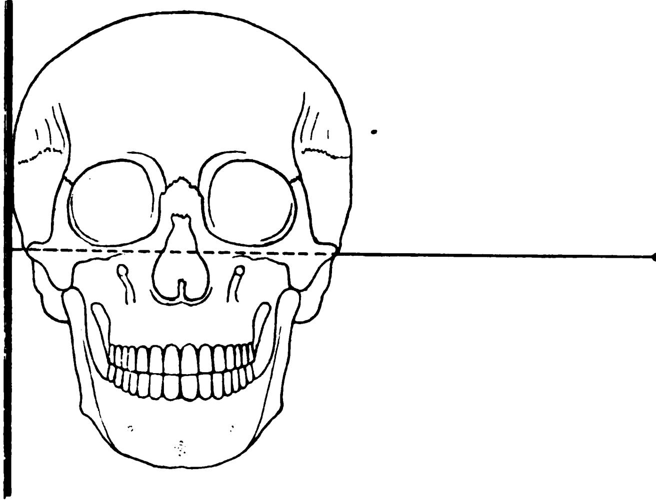
1. die frontale Aufnahme.

Der Kopf wird so gelagert, daß seine Medianebene parallel zur Platte gerichtet ist; der Hauptstrahl geht von der Antikathode durch beide Ohrpunkte*) senkrecht zur Platte (Fig. 96).

Eine diesbezügliche Lagerung kann man in der Weise herstellen, daß man den Patienten auf den Aufnahmestuhl von der Seite hereinsitzen läßt, das Rückenbrett nach Entfernung des Schulterkeils, hoch stellt, so daß die Schulter darunter geht. Die durch einen Heftpflasterstreifen (von der Nasenwurzel zum Hals über den Kopf gezogen) markierte Medianebene wird durch Winkelmaß zur Platte parallel gerichtet und die Röhre in einer Entfernung von circa 60 cm in oben angegebener Richtung eingestellt. (Aufsetzen eines Winkelmaßes auf den Ohrpunkt und Einstellung des

*) Höchste Punkte des äußeren Gehörgangs.

Antikathodenspiegels in der Richtung des zur Medianebene senkrechten Schenkels.)



Figur 96.
Strahlengang bei der frontalen Schädelaufnahme.

2. die sagittale Aufnahme.
   a) die ventrodorsale zur Darstellung der hintern Schädelgrube,
   b) die dorsoventrale zur Darstellung der mittleren und vordern Schädelgrube.

ad a) Bei der ventrodorsalen Aufnahme liegt das Hinterhaupt bei nach vornen geneigtem Kopf der Platte an; die Medianebene steht senkrecht zur Platte; die Röhre wird so eingestellt, daß bei geöffnetem Mund (Fig. 97), der Hauptstrahl in einer Ebene verläuft, welche durch den Rand der obern Schneidezähne und die beiden Ohrpunkte gelegt gedacht ist.

Die Aufnahme kann im Aufnahmestuhl und im Liegen vorgenommen werden.

ad b) Bei der dorsoventralen Aufnahme liegt Stirn und Nasenrücken der Platte an (Fig. 98). Die Röhre wird so gerichtet, daß der Hauptstrahl in einer Ebene verläuft, welche von den höchsten Punkten der Orbitalränder ausgehend, parallel zur Horizontalebene*) gedacht ist.

*) Unter Horizontalebene versteht man die Ebene, welche durch die tiefsten Punkte der Orbitalränder in die höchsten des äußeren Gehörgangs gelegt ist.

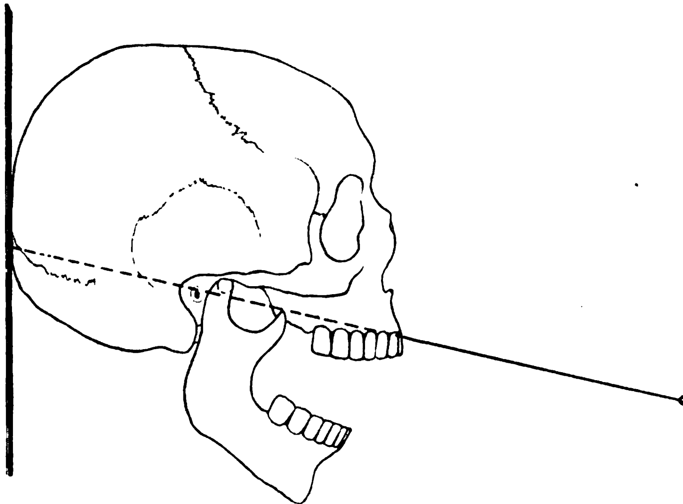
Zur Erleichterung der Einstellung kann man diese Ebene ebenfalls durch eine um den Schädel gelegten Heftpflasterstreifen markieren.

Eine dritte Art typischer Schädelbasisaufnahmen wären die axialen Aufnahmen.

Bei der einen käme die Platte parallel zur Horizontalebene dem Schädeldach anzuliegen, die Röhre würde vor der Mittellinie des Halses so stehen, daß der Hauptstrahl durch das Zentrum der Schädelbasis zur Platte geht. Bei der andern hätte die Platte bei möglichst nach hinten geneigtem Kopf der untern Fläche von Kinn und Kehlkopf anzuliegen, parallel der Horizontalebene. Die Röhre steht über dem Schädeldach so, daß der Hauptstrahl wiederum durch das Zentrum geht.

Eine Abart axialer Aufnahmen übt man nach Cowl bei Aufnahmen im Gebiet der Augenhöhle und des Oberkiefers:

Die kleine Platte (5×5 cm) wird in Guttapercha eingewickelt in den Mund genommen, die Röhre steht über dem Kopf so, daß der Hauptstrahl durch die Mitte der Orbita zur Mundhöhle geht.



Figur 97.
Strahlengang bei der sagittalen Aufnahme der hinteren Schädelgrube.

Die übrigen typischen Schädelaufnahmen nach Schüller und Robinsohn zu schildern, liegt nicht im Rahmen dieses Buches und es soll für den Interessenten hiermit nur auf das vorzügliche Buch beider Autoren über dieses Thema hingewiesen werden.

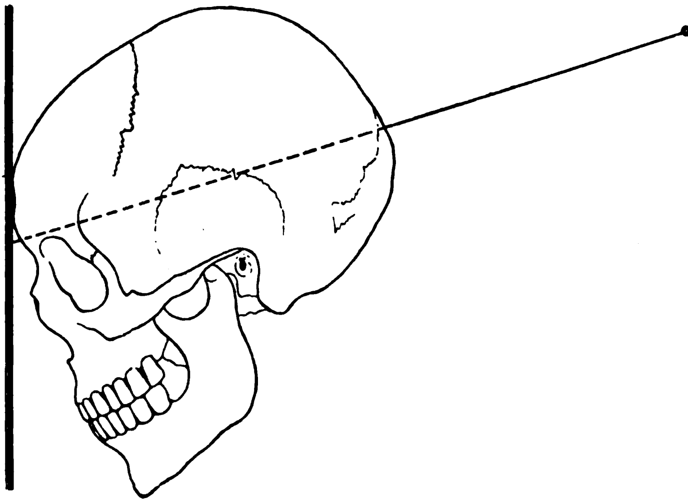
B. Aufnahmen des Gesichtschädels.

Die sagittale Aufnahme des Oberkiefers fällt mit der sagittalen Aufnahme der vordern und mittlern Schädelgrube zusammen. Der Oberkiefer wird außerdem in frontaler Richtung aufgenommen.

Bei der Frontalaufnahme wird Patient wie bei einer frontalen Schädelbasisaufnahme gelagert; die Röhre steht so, daß der Hauptstrahl durch die Mitte beider Oberkiefer geht.

Außerdem siehe axiale Aufnahme nach Cowl (Seite 185).

Der Unterkiefer wird in der Regel in frontaler Richtung aufgenommen. Lagerung wie bei der frontalen Schädelbasisaufnahme. Die Röhre steht so, daß der Hauptstrahl durch die Wurzel des letzten Backenzahnes geht.



Figur 98.
Strahlengang bei der sagittalen Aufnahme der mittleren und vorderen Schädelgrube.

Manchmal wird man sich einzelne Partien des Unterkiefers durch Drehung des Kopfes um seine Vertikal- oder Horizontalaxe oder durch exzentrische Röhrenverschiebung isolieren, d. h. die Deckung durch die entgegengesetzte Seite beseitigen müssen, um zum Ziele zu kommen.

Die Zähne werden nach Sjögren am besten in der Weise aufgenommen, daß man kleine Platten oder Films (3×3—4 cm) in den Mund nehmen und der entsprechenden Kieferpartie mit der

Zunge andrücken läßt. Der Hauptstrahl geht immer durch die Mitte der kritischen Partie.

Die Abblendung geschieht am besten mit der Bleiglasblende, auf die der genügend große gewählte Bleiglastubus aufgesetzt wird.

Wirbelsäule.

1. Halswirbelsäule.

a) ventro-dorsale Aufnahme.

Die Aufnahme kann im Aufnahmestuhl und im Liegen vorgenommen werden. Der Kopf wird so gelagert, daß seine Medianebene senkrecht zur Platte steht. Der Kopf muß seitlich durch Kopfstützen mittels Sandsäcken und Bindezügel gut fixiert werden. Der Hauptstrahl geht durch das Zungenbein.

Die zwei obersten Halswirbel kann man am besten durch den geöffneten Mund aufnehmen. Abblendung in diesem Falle durch Verwendung der Bleiglasblende mit in den Mund geschobenem Ansatzrohr.

b) frontale Aufnahme.

Lagerung wie bei der frontalen Schädelaufnahme, genaue Parallelstellung der Halswirbelsäule mit ihrer Medianebene (Kennzeichnung durch Blaustrich längs der Dornfortsätze) zur Platte. Abblendung am besten ebenfalls durch Bleiglasblende.

Die Röhre steht so, daß bei Aufnahme der zwei obersten Halswirbel der Hauptstrahl durch die beiden Warzenfortsätze geht; bei den mittleren Halswirbeln geht der Hauptstrahl in Kieferwinkelhöhe durch die Linie, welche vom Warzenfortsatz parallel der Nackenlinie ziehend gedacht ist.

Günstigere physikalische Bedingungen (Plattennähe) erhält man bei der Aufnahme der mittleren Halswirbel, wenn man eine kleine Platte durch Polsterung zwischen Unterlage und Platte an den Hals anpreßt.

2. Brustwirbelsäule.

Die Brustwirbelsäule ist bis auf die zwei obersten und dem letzten Brustwirbel immer noch das unsicherste Gebiet für die Radiographie, da bei der wichtigsten, der ventrodorsalen Aufnahmerichtung die Mediastinalorgane dieselbe decken. Es können ventrodorsale Aufnahmen, bei denen sich gröbere Veränderungen erkennen lassen, nur von jugendlichen oder älteren herabgekommenen Individuen mit Erfolg gemacht werden.

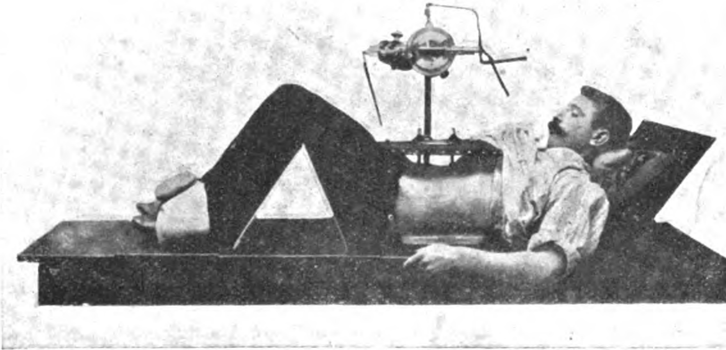
Unter Umständen kann man bei schräger Durchleuchtungsrichtung, wobei der Wirbelsäulenschatten von dem Mittelschatten isoliert wird, gröbere pathologische Veränderungen sichtbar machen, doch unterliegen solche Bilder infolge der schrägen Projektion größeren Deutungsschwierigkeiten. Da diese Aufnahmen mit dem

entsprechenden Aufnahmeverfahren bei Darstellung des Thorax zusammenfällt, sei auf dieses Kapitel hingewiesen. Die Aufnahme des letzten Brustwirbels fällt mit der Aufnahme der Lendenwirbelsäule zusammen.

3. Lendenwirbel, Kreuz und Steißbein.

Diese Körperregion ist ein dankbares Feld der Radiographie, seitdem man sich des Kompressionsblendenverfahrens bedient.

Bei der Aufnahme der Lendenwirbelsäule nebst letztem Brustwirbel und der obern Partie des Kreuzbeines, liegt der Patient in Rückenlage. Dabei muß man ein möglichst gutes Aufliegen der Wirbelsäule auf die Platte zu erreichen suchen; die Beine müssen in Knie und Hüfte stark gebeugt werden (Unterschieben einer keilförmigen Kniestütze), der Kopf muß so hoch und nach vorn übergebeugt werden, daß das Kinn die



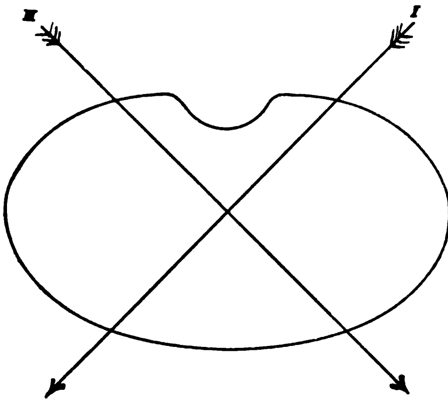
Figur 99.
Lagerung bei der Aufnahme der Lendenwirbelsäule.

Brust berührt. (Fig. 99.) Die Kompressionsblende wird so eingestellt, daß man mit dem Kompressorium bei Aufnahme des letzten Brustwirbels und der obersten zwei Lendenwirbel unmittelbar hinter dem Schwertfortsatz, eventuell etwas schräg nach oben in die Tiefe eindringen kann. Bei der Aufnahme des 3. bis 5. Lendenwirbels muß man ungefähr in Nabelhöhe komprimieren, geht man oberhalb der Symphyse in die Tiefe, so bekommt man die Gegend des 5. Lendenwirbels und die obere Kreuzbeinpartie auf die Platte. Bei Aufnahme der untern Partie des Kreuzbeines und des Steißbeins, läßt man einfache Rückenlage einhalten, und geht eventuell etwas schräg hinter der Symphyse in die Tiefe.

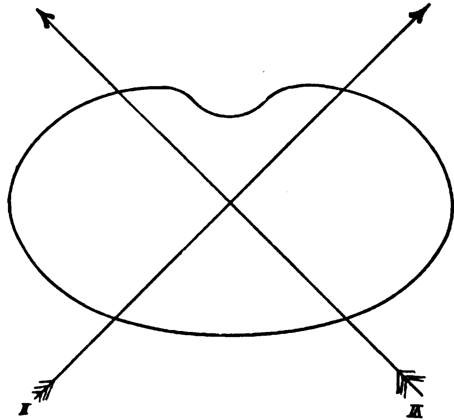
Thorax.

Jeder Thoraxaufnahme hat eine orientierende Durchleuchtung voranzugehen. Das Aufnahmeverfahren spielt beim Thorax eine untergeordnete Rolle gegenüber dem Durchleuchtungsverfahren.

Thorax-Aufnahmen werden in verschiedenen Aufnahmerichtnngen vorgenommen. Dieselben entsprechen den von Holzknecht angegebenen Durchleuchtungsrichtungen.



Figur 100.
Strahlengang bei den beiden dorso-ventralen schrägen Aufnahmerichtungen.



Figur 101.
Strahlengang bei den beiden ventro-dorsalen schrägen Aufnahmerichtungen.

Man macht:

Sagittale Aufnahmen (ventro-dorsale und dorso-ventrale).

Frontale Aufnahmen (dextro-sinistrale, sinistro-dextrale).

Schräge Aufnahmen (von L hinten nach R vornen und umgekehrt und von R hinten nach L vornen und umgekehrt. (Siehe Fig. 100 und 101).

Die Aufnahmen werden am besten im Aufnahmestuhl gemacht, schon deswegen, weil man sich am Aufnahmestuhl die genaueste und richtigste Einstellung mit dem Leuchtschirm kontrollieren und dadurch Fehlaufnahmen vermeiden kann.

Bei der schrägen Aufnahme ist die Lagerung wie bei den sagittalen Aufnahmen, nur steht die Röhre entsprechend seitwärts von der Mittellinie, so daß Mittelschatten und Wirbelsäulenschatten auf dem Leuchtschirm von einander durch einen hellen Streifen isoliert erscheinen.

Abblendung von der Lende oder dem Abdomen ab, durch Bleibleche etc. Bei Partialaufnahmen schaltet man zwischen Röhre

und Körper eine Irisblende ein und prüft die richtige Stellung und Diaphragmaweite am Leuchtschirm vor der Aufnahme.*)

Ösophagus, Magen und Darm.

161. Ösophagus. Die Ösophagus-Aufnahmen fallen mit den Thoraxaufnahmen in der ersten schrägen Durchleuchtungsrichtung zusammen. Die Exploration des Ösophagus ist jedoch in erster Linie ein Gebiet der Radioscopie; manchmal wird es notwendig sein, ein durch die Wismuthprobe festgestellte Stenose etc. des Ösophagus radiographisch in der angegebenen Durchleuchtungsrichtung mittels Momentaufnahme oder Aufnahme im Inspirationsstillstand festzulegen.

162. Magen und Darm. Nach Rieder werden, um eventuelle Magen und Darmveränderungen nachweisen zu können, bismuthhaltige Nahrungsmittel (400 gr. Mehlbrei, Kartoffelbrei, Milch mit 40—50 gr Bismuthum subn.) von oben eingeführt, resp. Eingießung von bismuthhaltigen Flüssigkeiten (100 gr Bismuth subnitr. in 1000 gr Öl oder Wasser, bei Kindern genügt 1/2—1/3 der Emulsion) in's Rektum vorgenommen.**)



Fig. 102. Lagerung bei einer dorso-ventralen Thoraxaufnahme.

Vor der Wismutheinführung muß der Darm gründlich entleert werden.

*) Die Aufnahmen werden je nach Fall bei Atmungsstillstand oder unter Fixationen des Thorax mittels Bindenzügeln oder Schlitzbinden bei oberflächlicher Atmung vorgenommen.

**) Nach Kästle kann man statt des Wismuthbreis verwenden: Wismuth 30 gr. Bolus alb. 150—180 gr in 300—400 ccm Wasser; und als Clysma: 50—75 gr Wismuth. Bolus alb. 250—300 gr auf 1 Liter Wasser.

In gewissen Zeitabschnitten, nach der Einführung der Bismuthmischungen, welche man sich am Durchleuchtungsschirm vor der Stehblende oder auf dem Trochoskop bestimmt, werden dann die Aufnahmen gemacht. Es genügen bei Colonaufnahmen häufig Aufnahmen im Inspirationsstillstand. Bei stereoskopischen Aufnahmen des Colons sind Momentaufnahmen zu machen.

Für die Exploration des Magens haben die Aufnahmen wenig Wert. Der Magen ist eine Domäne der Durchleuchtung, deren systematische Ausbildung wir vor allem Holzknecht*) und seiner Schule zu verdanken haben.

Aufnahme von Concrementen.

a) Nierensteine.

Lagerung wie bei der Aufnahme der Lendenwirbelsäule (siehe Fig. 99) Anwendung der Kompressionsblende. Man macht der Reihe nach (wobei der Eindruck des Kompressionsorgans auf die Haut uns anzeigt, wo wir bei der folgenden Aufnahme das Kompressorium aufsetzen müssen) Aufnahmen, beginnend neben der Mittellinie, indem man das Kompressorium auf den seitlichen Rippenbogen aufsetzt oder unmittelbar unter demselben mit ersterem etwas schräg nach oben in die Tiefe geht und endigt mit einer Aufnahme, bei der man mit dem Kompressorium am Os-pubis vorbei in die Tiefe geht.

Die angegebenen Einstellungen entsprechen dem Gebiet der Niere und des Ureters.

Eine Nierensteinaufnahme ist für die Diagnose ausschlaggebend, wenn sie folgende Kriterien hat:

1. der Wirbelsäulenanteil muß scharf und in allen Details gut sichtbar auf die Platte kommen.
2. deutliche Sichtbarkeit der 11. und 12. Rippe und des oberen Teiles der Darmbeinschaufel, je nach Höhe der Einstellung.
3. Differenzierung des Psoas und Quadratus lumborum.

b) Blasensteine.

Bei den Blasensteinaufnahmen läßt man einfache Rückenlage einhalten, weil, wenn die Lendengegend der Wirbelsäule hohl liegt, die in Betracht kommende Partie des Kreuzbeins der Platte am besten anliegt. Abblendung bei mageren Individuen mit Irisblende oder Bleiblech und zwar so, daß der Längsdurchmesser (8—9 cm) des Diaphragmas knapp unter der Symphyse endet.

Bei korpulenten Personen ist es ratsam, sich der Kompressionsblende zu bedienen; man geht mit dem Kompressorium hinter der Symphyse etwas schräg nach unten in die Tiefe. (Fig. 103.)

*) Siehe III. Teil. Die radiologische Diagnostik in der inneren Medizin.

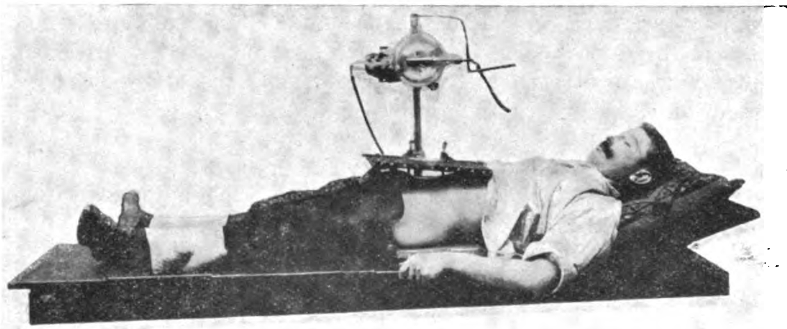
Nach unsern Erfahrungen sind Entleerung der Blase und Füllung derselben mit Luft (Wittek) vor der Aufnahme, um günstigere Aufnahmsbedingungen zu erzielen, unnötig und nicht ungefährlich.

Weiche Röhre, vorsichtige Entwicklung.

c) Gallensteine.

Bei der Darstellung von Gallensteinen treten zwei Schwierigkeiten in den Weg. Einmal ist das Absorptionsvermögen der weichen Gallensteine ein verhältnismäßig geringes und von dem der umgebenden Körperteile wenig different, so daß sie an und für sich schwieriger darstellbar sind als alle übrigen Konkremente.

Die zweite Schwierigkeit liegt darin, daß die Gallensteine in situ durch den Respirationsvorgang sich in ständiger Bewegung befinden, wodurch, wenn wir letztere nicht ausschalten können, der an und für sich geringe Schatten der weichen Gallensteine ohne scharfe Grenzen sich in den umgehenden Schatten verliert und sich nicht mehr mit Sicherheit von der Umgebung differenzieren läßt.



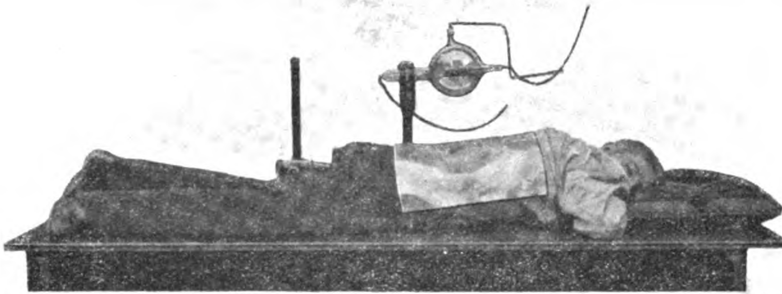
Figur 103.
Lagerung bei einer Blasensteinaufnahme.

Aus Gesagtem ergeben sich für das Gelingen einer Gallensteinaufnahme, falls der Stein oder die Steine überhaupt genügend differenzierbare Dichtigkeitsunterschiede darbieten, folgende Forderungen:

Gut weiche Röhre; möglichst sorgfältige Abblendung; das Konkrement plattennahe bringen. Anwendung des Kompressionsverfahrens; gründliche Darmentleerung vor der Anfnahme; möglichste Beseitigung der respiratorischen Mitbewegung der Leber bei der Aufnahme. Diesen Forderungen kann man auf zweierlei Weise gerecht zu werden versuchen.

Die eine Aufnahmeart wäre die, daß Patient in Bauchlage zu liegen kommt, wobei derselbe mit der entsprechenden Bauchgegend auf eine kleine, durch Unterlage gestützte und einen Sandsack erhöht gelagerte Platte gelegt wird. Abblendung am Rücken an korrespondierender Stelle durch Irisblende etc. (Fig. 104). Aufnahme im Inspirationstillstand mit weicher Röhre bei starker Belastung.

Diese Aufnahmeart wird uns das Konkrement möglichst plattennahe bringen; durch die Lagerung wird gleichzeitig eine Kompression und dadurch eine Körperdurchmesserverminderung erzielt, und die Inspirationsstellung garantiert eine ziemlich ruhige Stellung des Konkrements während der Aufnahme.



Figur 104.
Lagerung bei der dorso-ventralen Gallensteinaufnahme.

Die zweite Aufnahmeart wäre die, daß man in Rückenlage eine Kompressionsblende verwendet und mit dem Kompressorium an entsprechender Stelle gut komprimiert.

Bei dieser Aufnahmeart bekommen wir eine wesentliche Verminderung des Körperdurchmessers und erzielen durch das Kompressionsorgan ebenfalls eine ziemlich gute Ruhigstellung der Konkremente.

Die Entwicklung von Gallensteinaufnahmen erfordert ganz besondere Sorgfalt, und man muß sehr Obacht geben, daß der Konkrementschatten, der während der Entwicklung hervortritt, nicht durch zu langes Entwickeln wieder verschwindet.

---

5. Kapitel.

Ueber Stereoskopie im Röntgenverfahren.

Von Dr. Hildebrand, außerordentlichem Professor in Marburg.

---

163. Mängel der gewöhnlichen Röntgenaufnahme.

Noch immer wird die Stereoskopie im Röntgenverfahren viel zu wenig benutzt, obwohl sie eine wesentliche Verbesserung bedeutet und in vielen Fällen Außerordentliches leistet. Denn so wertvoll und wunderbar auch schon die mit einfachen Röntgenbildern erzielten Resultate sind, so wesentlich ihr Nutzen für die Diagnose ist, es sind und bleiben Schattenbilder, und bei der Betrachtung eines Schattenbildes ist man den größten Täuschungen ausgesetzt.

Wie soll man an einem Schattenbild erkennen, in welcher Ebene, in welcher Tiefe z. B. ein Fremdkörper gelegen ist, wie erkennen, welchem von mehreren aufeinander projizierten Knochenschatten eine Knochenwucherung angehört etc.?

Über die Tiefendimension gibt das einfache Röntgenbild keinen Aufschluß; infolgedessen ist oft ein Bild, welches auf den ersten Blick außerordentlich wertvoll erscheint, schließlich für die Therapie nicht zu gebrauchan, weil man über den genauen Sitz der gefundenen Abnormität selbst durch das Röntgenbild nicht belehrt wird. Ja, in einzelnen Fällen wird man sogar zu Fehlgriffen veranlaßt werden können; falsche Diagnosen auf Grund von Röntgenbildern sind nicht nur möglich, sondern kommen tatsächlich nicht selten vor.

Schon von vornherein, als es gelang, gute Röntgenbilder herzustellen, wurde dieser Übelstand unangenehm empfunden, und besonders bei Fremdkörpern war es ein Mangel, daß man wohl das Vorhandensein des Fremdkörpers, nicht aber den Sitz desselben so sicher feststellen konnte, daß man leicht auf ihn einzuschneiden in der Lage war.

Man versuchte deshalb, durch die verschiedensten Methoden diesem Übelstande abzuhelfen.

164. Erkennung der Tiefenlage eines projizierten Körpers.

Ein Verfahren, welches am nächsten liegt und sehr frühzeitig angewendet wurde, war das, in zwei verschiedenen, aufeinander senkrecht stehenden Ebenen Aufnahmen zu machen, z. B. bei einem Fremdkörper in der Mittelhand zuerst vom Rücken aus bei aufgelegter Hand, und dann von der Seite bei auf die Kleinfingerseite aufgestellter Hand. Einen Fortschritt bedeutet dies Verfahren sicherlich; in einzelnen Fällen wird man so zum Ziel kommen und, um bei dem erwähnten Beispiel zu bleiben, feststellen können, ob der im Bild zwischen zwei Metakarpalknochen sichtbare Fremdkörper auf der Volar- oder Dorsalseite gelegen ist. Immer wird man aber auch in diesem einfachen Fall nicht das gewünschte Resultat erreichen, denn die vier Mittelhandknochen liegen nicht in einer Ebene, bei einer seitlichen Aufnahme werden die vier Knochenschatten teilweise aufeinanderfallen und man wird sie nicht differenzieren können; der Fremdkörper liegt vielleicht mitten unter ihnen, von Knochenschatten bedeckt, und man ist nach der zweiten Aufnahme nicht klüger als zuvor.

Umsoweniger wird man in schwierigeren Fällen etwas mit dieser Methode erreichen.

Man suchte deshalb weiter nach besseren Methoden, und es gibt in der Röntgenliteratur eine große Menge von „Verfahren zur genauen Bestimmung von Fremdkörpern". Viel Mühe ist bei der Ausarbeitung einzelner derselben angewendet worden, denn es gibt solche, welche es nur mit Hilfe verwickelter mathematischer Formeln ermöglichen, „die wahre Lage" des Fremdkörpers festzustellen.

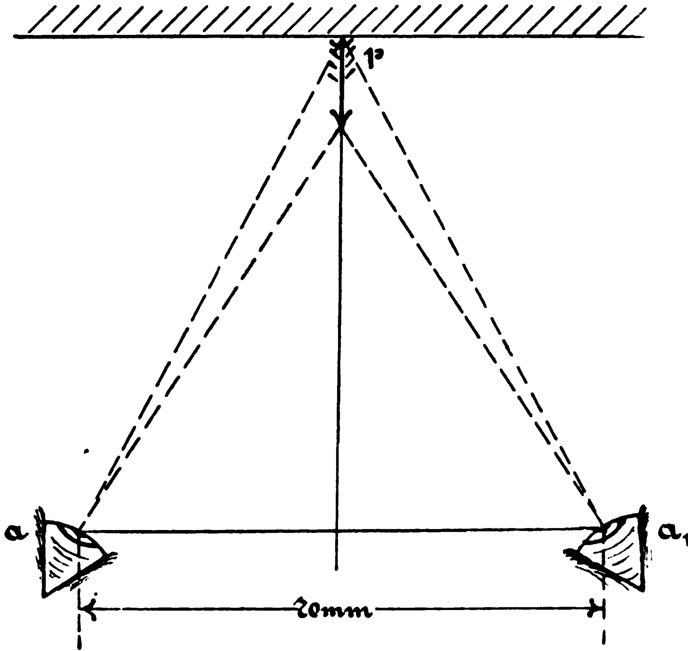
Daß alle diese Methoden teils wegen ihrer Kompliziertheit, teils aus anderen Gründen, keine einwandfreien Resultate geben und für die Praxis von nicht allzu großem Werte sind, beweist wohl schon die große Menge der beschriebenen Methoden. Bereits im Jahre 1900 konnte Brandt mehr als 70 zusammenzählen. Seitdem ist die Wissenschaft noch um einige weitere bereichert worden.

165. Wesen der stereoskopischen Röntgenaufnahme.

Es lag nahe, da gerade die Körperlichkeit den Röntgenbildern fehlte, den Versuch zu machen, die Stereoskopie in das Röntgenverfahren einzuführen, und schon frühzeitig beschäftigten sich Forscher mit dieser Aufgabe.

Theoretisch ist es einleuchtend, daß es möglich sein muß, körperliche Röntgenbilder herzustellen. Ebensogut wie wir im gewöhnlichen Leben teilweis durchsichtige Gegenstände, wenn sie von hinten beleuchtet sind, körperlich sehen und von ihnen stereoskopische photographische Bilder anfertigen können, ebensogut muß letzteres mit Gegenständen gelingen, welche mittelst Röntgenstrahlen durchleuchtet werden.

Das körperliche Sehen kommt dadurch zu stande, daß die beiden Augen den Gegenstand von 2 verschiedenen Punkten aus betrachten und dadurch die in beide Augen fallenden Bilder eine geringe Verschiedenheit zeigen.



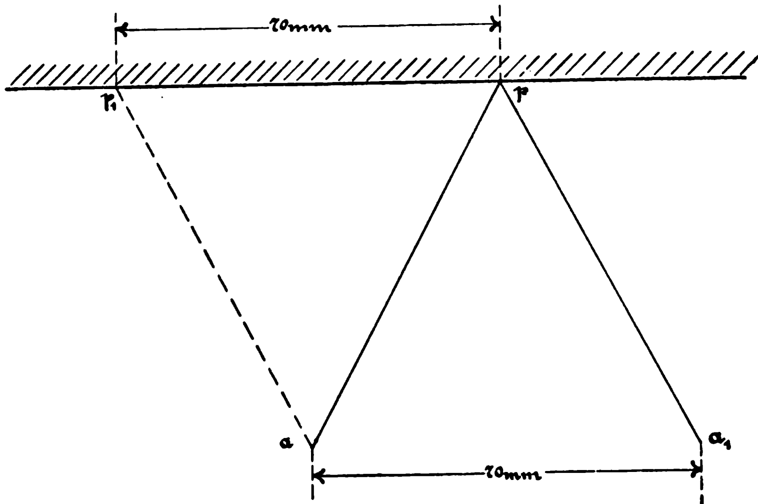
Figur 105.

Um bei dem oben angeführten Beispiel zu bleiben, so wird das von einem durchsichtigen Gegenstand entworfene Schattenbild, welches in das rechte Auge fällt, eine andere Projektion der einzelnen Schatten zeigen als das in das linke Auge fallende.

Gelingt es also, durch das Röntgenverfahren 2 Schattenbilder des Gegenstandes herzustellen, welche die gleiche Verschiedenheit in der Projektion der Schatten zeigen wie die eben erwähnten, so müssen sie durch das Stereoskop vereinigt körperlich wirken. Solche Röntgenbilder kann man gewinnen, wenn man von zwei verschiedenen Punkten aus, welche dem Abstand der menschlichen Augen entsprechend ca. 7 cm von einander entfernt sein müssen, 2 verschiedene Aufnahmen eines Gegenstandes macht. Die entstehenden Schattenbilder entsprechen genau denjenigen, welche, vorausgesetzt

daß der Gegenstand mit gewöhnlichem Licht von hinten beleuchtet würde, in unsere Augen fallen würden.

Nehme ich an, in Figur 105 wäre p der von hinten beleuchtete Gegenstand und in a und a_1 befänden sich die Augen eines Beobachters, so wird das in Auge a fallende Schattenbild ein total anderes sein als das in a_1 fallende; genau dieselben Schattenbilder wird man erhalten, wenn man an Stelle der Augen Röntgenröhren stellt, direkt hinter den Gegenstand eine photographische Platte bringt und nun von den Punkten a und a_1 aus je eine Aufnahme macht.



Figur 106.

Man kann selbstverständlich beide Aufnahmen nicht gleichzeitig machen und muß zur zweiten Aufnahme die Platte hinter dem Objekt wechseln.

Ob man zur zweiten Aufnahme bei feststehendem Objekt die Röhre um 7 cm seitlich verschiebt oder bei feststehender Röhre das Objekt verschiebt, ist einerlei.

Nehmen wir an, in Figur 106 sei wieder p das Objekt, und in a stünde die Röntgenröhre bei der ersten Aufnahme. Für die zweite Aufnahme kann man einfach die Röhre nach a_1 verschieben; das gleiche Bild wird man aber erhalten, wenn man die Röhre in a stehen läßt und den Gegenstand nach p_1 verlegt, denn a_1 p und a p_1 sind parallel.

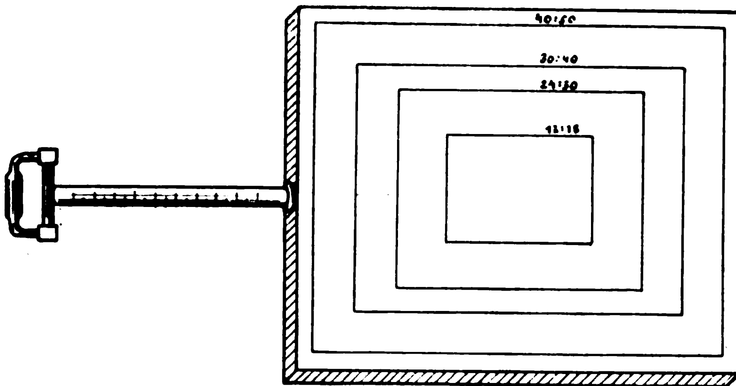
Der letztere Weg, das heißt bei festgestellter Röhre das Objekt um 7 cm zu verschieben, ist von vornherein der einfachere.

Nach diesem Prinzip sind die ersten stereoskopischen Bilder angefertigt worden.

Das erste Bild, welches veröffentlicht wurde, ist wohl eins von Büttner & Müller (Technik und Verwertung der Röntgenschen Strahlen). Es handelt sich dabei um die Aufnahme einer skelettierten Hand, von welcher einzelne Knochen mit Draht umwickelt waren. Das Bild wirkt vorzüglich und stellt eine wohlgelungene stereoskopische Aufnahme dar.

Doch diese Methode der Aufnahme ist nicht leicht und für lebende Gegenstände kaum zu verwerten; denn es ist notwendig, das Objekt, ohne seine sonstige Lage und Stellung irgendwie zu verändern, um 7 cm seitlich zu verschieben und eine neue Platte unter dasselbe zu bringen. Ist die Lage nur ein wenig verändert, so ist es nicht möglich, die gewonnenen Bilder im Stereoskop zu vereinigen.

Um diesem Übelstande zu begegnen, schlug man den andern Weg ein und versuchte die Aufnahme so vorzunehmen, daß man den Gegenstand liegen ließ und nur die Röhre um 7 cm verschob.



Figur 107.

Braucht man bei dieser Anordnung auch den Gegenstand selbst nicht zu verschieben, so muß man doch unter ihn eine neue Platte bringen und an dieser Schwierigkeit scheiterten wieder die meisten Versuche.

166. Apparate zur stereoskopischen Röntgenaufnahme.

Als ich mich im Sommer 1900 mit stereoskopischen Aufnahmen beschäftigte, war es mein Hauptbestreben, diese Schwierigkeit aus dem Wege zu räumen. Nach einigen Versuchen gelang es mir, eine Kassette zu konstruieren, welche es ermöglicht, von

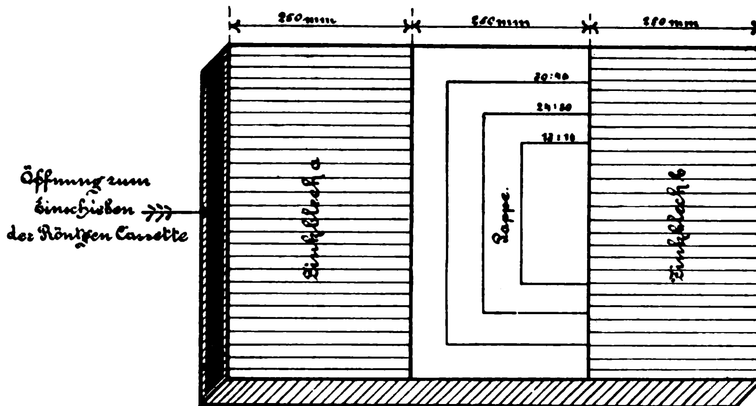
jedem beliebigen Gegenstand, selbst vom Becken eines Menschen, mit der größten Leichtigkeit eine stereoskopische Aufnahme zu machen.

Der Apparat wurde von mir in den „Fortschritten auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen"*) beschrieben. Ich schließe mich im Folgenden an diese Beschreibung an.

Der Apparat besteht aus einem hölzernen Futteral, in welchem eine gewöhnliche Kassette, wie wir sie zu unseren Röntgenaufnahmen benutzen, leicht verschiebbar ist.

An der Kassette befindet sich ein mit Zentimetereinteilung versehener Arm mit Handgriff, welcher das Verschieben der Kassette im Futteral ermöglicht (Fig. 107).

Das Futteral ist nach oben mit ganz dünner Pappe verschlossen, derselben Pappe, mit welcher die gewöhnlichen Kassetten bedeckt sind; auf diese Pappe kommt das Objekt, welches demnach der photographischen Platte sehr nahe aufliegt und nur durch eine doppelte Pappschicht von ihr getrennt ist. Die Pappe liegt nur in der Mitte in einer Ausdehnung von 25 cm frei (Fig. 108). Zu beiden Seiten ist dieselbe je 25 cm breit mit 3 mm dicken Zinkplatten bedeckt, welche die Röntgenstrahlen völlig abhalten.



Figur 108.

Schiebe ich die mit einer Platte 40 : 50 armierte Kassette tief in den Rahmen ein, so verschwindet die Hälfte der eingelegten Platte unter dem Zinkblech b; die andere Hälfte dagegen liegt frei unter der mittleren Pappe. Auf die letztere wird alsdann das zu untersuchende Objekt gelegt und die erste Aufnahme gemacht.

*) Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, 1900.

Nach Beendigung derselben verschiebt man die Röntgenröhre in der gleichen Richtung, wie die Kassette eingeschoben ist, um 7 cm, was an einem einfachen horizontalen Arm, welcher mit cm-Einteilung versehen ist, leicht ausführbar ist, und zieht gleichzeitig die Kassette um 25 cm aus dem Futteral heraus. Es verschwindet dann der soeben belichtete Teil der Platte unter dem Zinkblech a und der bisher geschützte unbelichtete Teil schiebt sich unter dem Blech b heraus unter die freie Pappe und den zu untersuchenden Gegenstand. Man macht jetzt die zweite Aufnahme, ohne daß der Gegenstand überhaupt berührt oder in seiner Lage irgendwie verschoben worden ist. Man erhält so beide Bilder auf einer Platte.

Statt daß man die Kassette bei der zweiten Aufnahme um 25 cm aus dem Futteral heraus zieht, kann man dieselbe auch von vornherein in diese Lage unter das Zinkblech a bringen und zur zweiten Aufnahme die Kassette hineinschieben, so daß jetzt die belichtete Platte unter das Zinkblech b kommt. Es hat dies bei schweren Objekten seinen Vorteil, weil man die Kassette, ehe sie durch das Objekt beschwert ist, leichter bis zu der bestimmten Marke einführen kann und zur zweiten Aufnahme nur nötig hat, die Kassette so tief, als es geht, einzuschieben. — Dadurch wird die ruhige Lage des Objekts möglichst wenig gestört.

Das Zinkblech a ist verschiebbar hergestellt und dadurch kann ich die freiliegende Pappe nach Belieben verkleinern und mit Platten aller Größen arbeiten.

Ich brauche nur bei der ersten Aufnahme die Kassette bis zu den am Arm a (Fig. 107) angebrachten Marken, welche den einzelnen Plattengrößen entsprechen, einzuführen und das Zinkblech a bis zu den entsprechenden oben auf der Pappe angebrachten Marken vorzuschieben, sodaß die Hälfte der Platte geschützt wird. Für die zweite Aufnahme ist dann bei jeder Plattengröße weiter nichts nötig, als die Kassette vollends einzuschieben.

Gerade diese einfache Einrichtung fehlt bei einigen Kassetten, welche ich neuerdings in Katalogen angezeigt fand und welche immer nur für bestimmte Plattengrößen brauchbar sind, so daß man mehrere Apparate nötig hat.

Bei Herstellung stereoskopischer Bilder mit meinem Apparat hat man noch den großen Vorteil, beide Bilder auf einer Platte parallel nebeneinander zu haben in einer Lage, wie sie zum stereoskopischen Sehen notwendig ist.

Neuerdings ist im Aschaffenburger Laboratorium in sinnreicher Weise meine Wechselkassette mit der Wiesner'schen Blende combiniert worden, so daß man in der Lage ist, auch stereoskopische Aufnahmen unter Zuhilfenahme der Blende mit leichter Mühe her-

zustellen. Die Anwendung der Blende ist bei stereoskopischen Bildern von besonderem Vorteil; denn je schärfer die Konturen sind, um so besser tritt die Plastik der Bilder hervor.

Die Handhabung des Apparats, welcher von dem Elektrotechnischen Institut im Laboratorium in Aschaffenburg geliefert wird, ist eine sehr einfache.

Es fehlt nicht an mannigfachen Modifikationen der Wechselkassette, Kombination der letzteren mit den verschiedensten anderen Aufnahmeapparaten, Vorrichtungen zum Verschieben der Röhre etc.

Einer dieser komplizierten Apparate hat den Zweck, für öfter wiederholte stereoskopische Aufnahmen stets wieder die gleichen Bedingungen zu schaffen. Dies ist, um sichere Vergleiche anstellen zu können, zweckmäßig; ob deshalb aber besondere Vorrichtungen nötig sind, bezweifle ich. Man kommt mit der einfachen Kassette vollständig aus und kann auch die mit ihr gewonnenen Bilder vergleichen, wenn man die Aufnahmen unter annährend gleichen Bedingungen macht; auf 1 cm kommt es nicht an.

Auch alle komplizierten Einrichtungen, um Messungen an stereoskopischen Bildern vorzunehmen, halte ich für überflüssig. Für die Praxis haben sie jedenfalls keine große Bedeutung; man kann auch ohne Messungen am stereoskopischen Bild genug sehen.

Ich stelle allen diesen Methoden dieselbe Prognose, wie den oben erwähnten 70 Methoden zur Bestimmung der wahren Lage eines Fremdkörpers: sie werden im Lauf der Zeit vergessen werden.

167. Das stereoskopische Sehen des Röntgenbildes.

Es fragt sich nun, wie man die Bilder am besten beim Ansehen zur Vereinigung bringt, so daß ein körperliches Sehen ermöglicht wird.

Viele Menschen vermögen durch künstliche Schielstellung der Augen die Bilder ohne weiteres zu vereinigen und für sie ist jede weitere Manipulation mit den Bildern überflüssig. Dies direkte stereoskopische Sehen ist nicht schwer und es ist mir häufig gelungen, es Anderen zu lehren. Stellt man sich vor eine stereoskopische Aufnahme und erzeugt durch Blicken in die Ferne Doppelbilder, so muß man von den nun sichtbaren 4 Bildern der stereoskopischen Aufnahme die beiden mittelsten zur Vereinigung zu bringen suchen; man sieht alsdann 3 Bilder, von welchen das mittlere körperlich wirkt. Nach einiger Übung gelingt es, dies Bild so festzuhalten, daß man alsdann auch auf dasselbe accomodieren kann, ohne die Konvergenz zu ändern. Auf längere Zeit strengt das Sehen natürlich an, da man die Accomodation anders anspannen muß, als man es bei der bestimmten Konvergenzstellung gewöhnt ist (relative Accomodation). Bei einiger Übung gewöhnt man sich daran; ich selbst kann stereoskopische Bilder sehen, sowohl

wenn ich in Divergenz- als in Konvergenzstellung meiner Augen Doppelbilder erzeuge.

Immerhin ist diese Art des Ansehens nur ein Notbehelf, und im allgemeinen wird man sich eines Stereoskops bedienen müssen, um körperlich sehen zu können.

Da die gewöhnlichen Stereoskope für Bilder von 7 cm Bildweite eingerichtet sind, so muß man von den Originalröntgenplatten Verkleinerungen auf eine Bildweite von 7 cm machen und das entstandene Diapositiv mit dem Stereoskop betrachten.

Solche Diapositive sind überraschend schön; allerdings muß man sich erst an das Anschauen dieser durchsichtigen und doch körperlich wirkenden Bilder gewöhnen. Am besten ist es, zunächst ohne das Bild viel hin und her zu verschieben eine Zeitlang ruhig in das Stereoskop hineinzusehen und abzuwarten, bis man beide Bilder vereinigt hat. Dann erst stelle man das Bild durch Verschieben ganz scharf ein. Je länger man dann ein stereoskopisches Bild ansieht, umso besser wirkt es und umso deutlicher tritt die Plastik hervor.

Die Diapositive wirken besonders gut, weil sie natürliche Verhältnisse zeigen. Die wenig durchleuchteten Stellen, Knochen etc., erscheinen dunkel, die durchleuchteten Partieen, wie Lungen, Weichteile, sind hell.

Einen weiteren Vorzug haben diese Diapositive deshalb, weil durch die Verkleinerung die Konturen erheblich schärfer werden und dadurch die Körperlichkeit der Bilder erhöht wird.

Natürlich machen die Verkleinerungen Mühe, und es gehören gewisse technische Fertigkeiten dazu, immer wirklich gute Bilder herzustellen.

Am einfachsten geht man so vor, daß man die Originalaufnahme nach dem Trocknen mit der Glasseite auf eine Mattscheibe legt und stark von hinten beleuchtet, entweder durch künstliches Licht, oder indem man sie einfach an das Fenster stellt. Alsdann photographiert man das Bild mit einer gewöhnlichen Camera ab (Bildgröße 13 : 18).

Man geht mit der Camera so weit von der Originalplatte ab, bis die beiden auf der Mattscheibe entstehenden verkleinerten Bilder einen Abstand von 7 cm haben. Mit einem Centimetermaß kann man dies leicht auf der Mattscheibe ausmessen.

Will man seitliches Licht abhalten, so kann man von der Originalplatte zur Camera zwei Stangen legen und dunkle Tücher darüberhängen.

So einfach auch, besonders bei einiger Übung, eine Verkleinerung hergestellt werden kann, so geht doch Mühe und Zeit ver-

loren, und es lag deshalb der Gedanke nahe, ein Stereoskop zu konstruieren, mit Hilfe dessen es möglich sei, die Originalplatten direkt zu betrachten.

Derartige Stereoskope sind von verschiedenen Autoren beschrieben worden. Am besten sind wohl die Spiegelstereoskope; am wenigsten leisten die Linsenstereoskope, zwischen beiden steht das Prismenstereoskop.

Der Preis der Apparate ist noch ein sehr hoher und steht in keinem Verhältnis zu ihrer Leistungsfähigkeit; so leistet das Prismenstereoskop von Walter verhältnismäßig wenig trotz des hohen Preises von 200 Mark.

Ich habe auf die Bequemlichkeit verzichtet, mit einem Stereoskop Bilder von jeder Plattengröße ansehen zu können und habe mir je ein Prismenstereoskop für Plattengröße 40 : 50 und 24 : 30 angefertigt, die sehr einfach sind, wenig kosten und besseres leisten als die komplizierten teuren Apparate. Es handelt sich um einfache, zusammenklappbare Holzgestelle im Preis von 8 Mark, sie sind mit achromatischen Prismen versehen, welche mit einem schwachen Convexglas kombiniert sind.

Mit diesen beiden Stereoskopen komme ich völlig aus, denn man kann jede stereoskopische Aufnahme in einer der beiden Größen anfertigen; ganz kleine Objekte kann man sogar auf Platten 13 : 18 bringen und mit dem gewöhnlichen Stereoskop direkt besehen.

So erspart man die Verkleinerungen und die stereoskopische Aufnahme ist kaum zeitraubender als eine einfache Aufnahme, höchstens um die einmalige Expositionszeit. Bei wichtigern Fällen sowie zu Demonstrationszwecken wird es sich allerdings aus den oben angegebenen Gründen empfehlen, doch ein verkleinertes Diapositiv herzustellen.

Es ist zu hoffen, daß die stereoskopischen Aufnahmen eine weit größere Verbreitung finden werden, als es bisher der Fall war. 168. Anwendungsgebiet.

Daß sie eine weitere Verbreitung verdienen, daß sie in vielen Fällen ungleich mehr leisten als die einfachen Aufnahmen, muß Jeder zugeben, der einmal solche Aufnahmen gemacht und gesehen hat. Es sind bestimmte Gebiete, auf welchen das stereoskopische Röntgenbild Besonderes leistet, und es ist nötig, kurz auf diese Gebiete einzugehen.

Im Verein mit Wieting und Scholz habe ich einen Atlas stereoskopischer Röntgenbilder herausgegeben (die Originalplatten wurden 1902 auf der internationalen Ausstellung ärztlicher Lehr-

mittel, Berlin, vom preußischen Kultusministerium mit der silbernen Madaille ausgezeichnet), welcher die wesentlichsten Gebiete umfaßt.*)

Ganz besonders sind es Fälle von Fremdkörpern, welche günstige Bedingungen für stereoskopische Aufnahmen bieten. Schon eingangs erwähnte ich die mannigfachen Versuche und Methoden, Fremdkörper zu lokalisieren. Alle diese Methoden werden übertroffen durch das stereoskopische Bild, vor allem wegen der Einfachheit der Ausführung. Mit Hilfe des stereoskopischen Bildes gelingt es in den meisten Fällen, den Sitz des Fremdkörpers festzustellen, wenigstens so sicher, daß es möglich ist, die Operation vorzunehmen. Ich sage nur in den meisten Fällen; daß es stets gelinge, liegt mir fern zu behaupten. Man muß von einer Methode nicht alles verlangen wollen. Liegt z. B. ein Fremdkörper ganz frei in der Lunge oder mitten im Gehirn, so wird man auch mit dem Stereoskop eine genaue Lokalisierung nicht vornehmen können. Denn es muß vor allen Dingen betont werden: mit dem Stereoskop wollen wir nicht die Lage des Fremdkörpers nach Zentimetern im Raum bestimmen, sondern nur seine relative Lage, seine Lage im Verhältnis zu anderen sichtbaren Schatten, insbesondere den Knochen. Diese relative Lage, ob der Fremdkörper vor oder hinter bestimmten Knochenvorsprüngen und -Leisten gelegen ist, läßt sich mittelst der stereoskopischen Aufnahme exakt nachweisen und man wird auf Grund eines solchen Bildes operativ vorgehen können.

Der Versuch, die Lage des Fremdkörpers mittelst einer stereoskopischen Aufnahme nach Zentimetern zu bestimmen, ist unnötig und ebenso unsicher wie alle übrigen auf Messungen beruhenden Methoden.

Beschränkt man sich darauf, die relative Lage festzustellen, so braucht man auch bei der Aufnahme nicht allzugroße Vorsicht walten zu lassen. Ob man die Röhre peinlich genau um 7 cm verschiebt oder etwas mehr oder weniger, ist einerlei; je nachdem erscheint das gesamte Bild mehr oder weniger tief. Das Verhältnis der Tiefenlage eines Fremdkörpers zu benachbarten Knochen bleibt aber ganz das gleiche. Für praktische Zwecke genügt in den meisten Fällen die Kenntnis dieses Verhältnisses, um die Operation vornehmen zu können.

Vorzügliches leistet ferner das stereoskopische Bild bei Knochenbrüchen. Daß Knochenbrüche so verlaufen können, daß bei einer einfachen Aufnahme fast nichts zu sehen ist, ist eine allbekannte Erfahrung. In solchen Fällen ist eine zweite Aufnahme in anderer Richtung notwendig, dies ist zeitraubend und für den

*) Verlag Bergmann, Wiesbaden 1901.

Patienten lästig und mit Schmerzen verbunden. Im stereoskopischen Röntgenbild erkennt man sofort jede Dislokation nach irgend einer Seite hin. Man sieht die Knochenenden in ihrer wirklichen Lage im Raum liegen. Von welch' eminentem Vorteil dies im Einzelfall sein kann, bedarf keiner Erläuterung. Gewiß wird man bei Knochenbrüchen, falls überhaupt eine Röntgenaufnahme nötig ist, in den meisten Fällen mit einer einfachen Aufnahme auskommen. Ergeben sich aber Schwierigkeiten in der Beurteilung, so wird eine stereoskopische Röntgenaufnahme mit Leichtigkeit Aufklärung schaffen.

Noch eklatanter ist der Wert der letzteren bei den Veränderungen des Hüftgelenkes, der kongenitalen Hüftgelenksluxation, der coxa vara etc. Über die eigentliche Stellung des Schenkelkopfes, über die Art der Verbiegung des Schenkelhalses kann überhaupt nur das stereoskopische Bild einen klaren Aufschluß geben. Man ist erstaunt, wenn man die einzelnen Knochen in ihrer natürlichen Stellung schweben sieht und einen klaren Einblick in die Verhältnisse des einzelnen Gelenkes erhält. Gerade diese Bilder müssen Jeden, der sie sieht, zum Freund der Methode machen.

Abgesehen von manchen andern Gelegenheiten, bei welchen das stereoskopische Bild Vorteil bringt, möchte ich nur noch die Aufnahme von injizierten Gefäßen erwähnen, welche von mir in großer Zahl gemacht worden sind. Der erste Teil des oben erwähnten Atlas bringt solche Bilder. Injiziert man die Gefäße mit einer quecksilberhaltigen Masse*), so kann man im stereoskopischen Röntgenbild die Verzweigung der einzelnen Gefäße und deren Verlauf auf das Genaueste verfolgen. Ich glaube, daß diese Bilder für den Unterricht sowie für andere Zwecke gut zu verwerten sind. Jedenfalls gewähren sie einen überraschend schönen Anblick.

Es ist nicht möglich, alle Anwendungsweisen der stereoskopischen Röntgenbilder anzuführen. Wer sich überhaupt mit Anfertigung solcher Bilder beschäftigt, für den ergeben sich Fälle genug, in welchen er Vorteile davon haben wird.

Ich muß noch einer Eigentümlichkeit der stereoskopischen

---

*) Meine Masse war folgendermaßen zusammengesetzt:

Hydrargyr. viv.	1000,0
Cera flava	40,0
Sebum	60.0
Terebinth commun.	200,0
Adeps	50,0

Das Quecksilber wird mit dem Terpentin fein verrieben und dieser Verreibung die übrige zusammengeschmolzene aber nicht heiße Masse zusammengesetzt.

Röntgenbilder gedenken. Es ist bekannt, daß man bei gewöhnlichen stereoskopischen Aufnahmen die Bilder später vertauschen muß, weil sonst die Perspektiven völlig umgekehrt sind und die hinten gelegenen Gegenstände vorn zu liegen scheinen und umgekehrt. Auf die nähere Erklärung gehe ich nicht weiter ein. Es gibt dies natürlich Zerrbilder der schlimmsten Art, da Gegenstände durchsichtig erscheinen, welche es nicht sind, und da die kleinen, eigentlich weit entfernt liegenden Gegenstände in den Vordergrund kommen. Anders mit den Röntgenbildern: hier handelt es sich um Schattenbilder, und zwar um durchsichtige Schattenbilder von relativ kleinen Gegenständen, und wenn man Schattenbilder stereoskopisch ansieht, so ist es einerlei, ob die eigentlich hinten liegenden Teile vorn zu liegen scheinen oder umgekehrt, in beiden Fällen sieht man ein gutes Bild; in dem einen Fall glaubt man es von vorn, in dem anderen von hinten zu sehen.

Man hat es also vollständig in der Hand, ob man die entstehenden Bilder in Vorder- oder Rückansicht haben will. Wenn man sich daran gewöhnt, was sehr zu empfehlen ist, die Kassette immer in einer Richtung zu verschieben, z. B. bei der zweiten Aufnahme dieselbe stets so tief als möglich in das Futteral einzuschieben, so werden die Aufnahmen verschieden ausfallen, je nachdem man die Röntgenröhre vor der zweiten Aufnahme in derselben Richtung wie die Kassette oder in entgegengesetzter Richtung verschiebt. Die Bilder werden einfach vertauscht und in dem einen Fall erhält man beim Ansehen mit dem Stereoskop ein Bild von der Vorder-, im anderen von der Rückseite. Man muß hierauf achten, einerseits weil man bei oberflächlicher Betrachtung Täuschungen ausgesetzt sein kann, andererseits weil einzelne Bilder, vor allem Beckenaufnahmen, von vorn betrachtet viel übersichtlicher sind. Nach einiger Übung wird man sich leicht in diese Verhältnisse hineinfinden.

Da beim Vertauschen der Aufnahmen das Bild sofort von der umgekehrten Seite erscheint, so sehe ich bei der oben geschilderten Methode des direkten Ansehens der Originalplatte das Bild bei Divergenzstellung meiner Augen von der Vorderseite, bei Konvergenzstellung dagegen von der Rückseite, denn im letzten Falle entstehen gekreuzte Doppelbilder.

Über die Entfernung der Röhre von der Platte wäre noch nachzutragen, daß dieselbe nicht stets die gleiche zu sein braucht, und daß in jeder beliebigen Entfernung die seitliche Verschiebung der Röhre bei der zweiten Aufnahme um ca. 7 cm erfolgen muß. Es besteht kein bestimmtes Verhältnis zwischen der Größe der Verschiebung der Röhre und dem Plattenabstand. Je weiter man

die Röhre von der Platte entfernt, um so entfernter vom Auge erscheint später das ganze Bild; je weiter man dagegen die Röhre bei der zweiten Aufnahme verschiebt, um so tiefer erscheint das Bild, und umgekehrt. Man kann, wie aus letzterem hervorgeht, mit Leichtigkeit je nach der Verschiebung der Röhre übertrieben flache oder tiefe Bilder herstellen, was im einzelnen Fall erwünscht sein kann. Auch in solchen, der Wirklichkeit nicht entsprechenden Bildern bleibt das Verhältnis der einzelnen Schatten zu einander bezüglich ihrer Tiefenlage das gleiche.

Zum Schlusse wären noch die interessanten Versuche zu erwähnen, schon auf dem Leuchtschirm stereoskopische Bilder hervorzubringen. Die beiden dazu notwendigen Bilder können natürlich nicht gleichzeitig auf den Schirm geworfen werden, sondern man muß abwechselnd zwei Röhren, welche in dem üblichen Abstand von 7 cm aufgestellt sind, schnell hintereinander in Wirksamkeit treten lassen. Um mit den entstehenden, etwas verschiedenen Bildern einen stereoskopischen Eindruck zu erzielen, ist es notwendig, daß das eine derselben nur von dem einen, das andere nur von dem anderen Auge des Beobachters gesehen wird. 169. Stereoskopische Durchleuchtung.

Boas, von welchem die ganze Idee ausgeht, hat dies durch Einschaltung eines „Stroboskops“, welches durch Rotation einer mit Öffnungen versehenen Scheibe immer nur einem Auge die Durchsicht gestattet, erreicht. Der von Boas konstruierte Apparat ist ein sehr sinnreicher, die stereoskopische Wirkung soll allerdings nur bei dünnen Objekten klar hervortreten.

Auch von Reiniger, Gebhardt und Schall ist ein ähnlicher, verbesserter Apparat beschrieben und in den Handel gebracht worden, mit welchem es möglich ist, gute körperlich wirkende Bilder auf dem Schirm zu erzielen.

Die Apparate sind kompliziert und ihre Leistungen sind nicht derartige, daß ein wesentlicher Nutzen für die Praxis erzielt würde; Fortschritte auf diesem Gebiete sind aus der letzten Zeit nicht zu verzeichnen.

Endlich sei noch kurz der in der jüngsten Zeit von Béla Alexander und andern hergestellten „Plastischen Röntgenbilder“ gedacht. Die Tatsache, daß man solche Bilder herstellen kann, ist interessant. Die Bilder sind schön, aber wertvoll für die Praxis sind sie nicht. Die Plastik ist eine künstliche. Die Bilder sehen aus wie Reliefbilder, die Oberfläche wirkt plastisch; aber was vorn und was hinten liegt, kann man nicht unterscheiden. Wenn man dazu die Beschreibung Béla Alexanders liest, wenn man erfährt, welch unendliche Mühe es kostet, schließlich ein solches Bild zustande zu bringen, so verzichtet man gern auf die Methode.

Sicher wird jeder darauf verzichten, der sich mit Herstellung stereoskopischer Bilder beschäftigt hat; denn im Vergleich mit letzteren sind die „plastischen Röntgenbilder“ eine Spielerei.

6. Kapitel.

Ueber Orthodiagraphie.

Von Prof. Dr. Aug. Hoffmann, Dir. d. Medizin. Klinik
in Düsseldorf.

---

170. Prinzip der Orthodiagraphie. Da die Röntgenstrahlen sich von ihrem Ausgangspunkt, der Mitte der Antikathode, nach allen Richtungen hin radial ausbreiten, so wird das Schattenbild eines Gegenstandes, welcher dem fluoreszierenden Schirm nicht unmittelbar anliegt, nach den Gesetzen der Optik auf diesem vergrößert erscheinen. Es verhält sich mit dem Schattenbilde in dieser Beziehung genau so, wie mit dem durch eine sonstige Lichtquelle — etwa eine Kerzenflamme — hervorgerufenen Schatten. Während nun die Lichtstrahlen bei Verwendung durchscheinender Medien brechbar sind und durch eine bestimmte Form des brechbaren Mediums parallel gerichtet werden können, ist eine regelmäßige Brechung der X-Strahlen durch irgend ein Medium wegen ihrer Wesensverschiedenheit gegenüber den Lichtstrahlen nicht hervorzurufen. Kann man den zu untersuchenden Gegenstand nicht unmittelbar an den Schirm bringen, und will man doch seine wirkliche Größe aus dem Schattenbild erkennen, so muß ein besonderer Weg der Untersuchung eingeschlagen werden.

Denkt man sich den die Strahlen aussendenden Punkt der Antikathode (oder die Kerzenflamme) mit einem Punkte des Randes des zu untersuchenden Körpers und den Schirm, der den Schatten auffängt, in einer geraden Linie angeordnet, so wird den Rand des Körpers an der betreffenden Stelle ein senkrechtes Strahlenbündel treffen, und an dieser Stelle wird das Schattenbild genau dem wirklichen Rand des schattenwerfenden Körpers, z. B. wenn man sich ihn als eine runde Scheibe vorstellt, entsprechen. Im übrigen aber wird die Scheibe im Schatten nicht rund, sondern nach der entgegengesetzten Richtung hin eiförmig ausgezogen erscheinen.

Bewegt man die Röhre oder die Scheibe so, daß nun der entgegengesetzte Rand von senkrechten Strahlen getroffen wird, so ist jetzt dieser Rand genau im Schattenbild wiedergegeben, während der erst eingestellte nun die Verzerrung des Schattenbildes zeigt. Hat man den ersten Punkt auf dem Schirm (bei bewegter Röhre) markiert und ebenso den zweiten, so entspricht die Entfernung beider Markierungen genau dem entsprechenden Durchmesser des Objekts, in diesem Fall der Scheibe.

Umgekehrt, hat man die Scheibe etwa 10 oder mehr Centimeter hinter einer dünnen Papp- oder Holzplatte also zwischen Lichtquelle und Schirm durch einen senkrechten Stab befestigt, so kann man, wenn man diese Platte dicht an einen mit der Röhre gleichzeitig beweglichen Schirm legt und nun letzteren mitsamt der Röhre verschiebt, auf der Platte die Größe der Scheibe aufzeichnen, wenn man jedesmal den Punkt des Schattenrandes, der gerade vom senkrechten Strahl getroffen wird, etwa durch ein kleines Loch im Schirm hindurch auf der Platte markiert. Um nun im Dunkeln stets zu wissen, wann der Schattenrand vom senkrecht auffallenden Strahl getroffen wird, bringt man der Mitte der die Strahlen aussendenden Antikathode genau gegenüber und zu dieser unverrückbar einen Markierstift an. Die Lampe und der Stift werden am Ende von Stäben angebracht, die senkrecht von einem sie verbindenden Querstab ausgehen. Sie befinden sich also gewissermaßen an den Enden einer zweizinkigen Gabel, zwischen welche man den zu durchleuchtenden Körper nebst dem Leuchtschirm anbringt.

Mit diesem System kann man den eben beschriebenen Versuch leicht ausführen, wenn man dasselbe so beweglich macht, daß dabei Röhre und Markierstift einander stets genau gegenübergestellt bleiben.

Die meisten Gegenstände, welche man radioskopisch untersuchen will, können ja dem Leuchtschirm, respektive der photographischen Platte hinreichend genähert werden, um genaue und zum gewünschten Zweck ausreichende Bilder zu geben. Nur die Organe der Brusthöhle, das Herz und die großen Gefäße, sowie etwa dort befindliche abnorme Gebilde, Tumoren, Aneurysmen, Fremdkörper, können in ihrer wirklichen Größe, auf deren Bestimmung es wesentlich bei der Röntgenuntersuchung am Thorax ankommt, aus dem Schattenbilde nicht erkannt werden, da sie in unbekannter Entfernung hinter dem Schirm sich befinden. Für diese Untersuchungen, ganz besonders für die des Herzens, kommt ein nach Analogie des geschilderten Versuches eingerichtetes Verfahren in Frage: die Orthodiagraphie. (Moritz.)

Schon gleich bei der Einführung der Röntgenstrahlen in die Medizin, nachdem man erkannt hatte, daß der Herzschatten sich

innerhalb des helleren Lungenschattens als dunkles, wohlumgrenztes Bild abhob, wurden Versuche gemacht, aus der Größe des Schattenbildes die wahre Größe des Herzens zu bestimmen.

Es ist nun keine Frage, daß bei genügender Entfernung der die Strahlen aussendenden Röhre vom Leuchtschirm, und wenn man die zu untersuchende Person dicht an den Schirm bringt, die Vergrößerung des Schattens bis zu einer nur geringfügigen Differenz zur wirklichen Größe gebracht werden kann. Auch würde es, läge das Herz der Brusthaut unmittelbar an, oder wäre die Entfernung des größten Querschnittes des Herzens von der vorderen Körperoberfläche eine bei allen Personen nahezu gleiche, keine Schwierigkeiten machen durch einfache Durchleuchtung und Aufzeichnung des Schattenbildes ein annähernd richtiges Bild der Herzgröße zu gewinnen. In Wirklichkeit stellt sich diesem Vorgehen zunächst die Unmöglichkeit entgegen, die Röhre weit genug vom Schirm zu entfernen, da mit zunehmender Entfernung die Helligkeit der Fluoreszenz nachläßt und die Schattenbilder immer schwächer und undeutlicher werden. Außerdem ist die Entfernung des größten Durchmessers des Herzens von der Oberfläche der Brust eine immerhin beträchtliche und beträgt für die einzelnen Teile des Herzens 4—8 cm. Dabei ist sie bei verschiedenen Personen ungleich groß, so daß bei der üblichen Durchleuchtung der Brustorgane, wobei die Röntgenröhre 50—60 cm hinter dem Schirm sich befindet, eine im Einzelfall verschiedene aber immer beträchtliche Vergrößerung des Herzschattens entstehen muß. Zwar war man schon früher imstande, durch Einhaltung genau derselben Versuchsbedingungen: gleicher möglichst große Röhrenabstand, gleiche Stellung der Röhre zur Körperoberfläche, bei derselben Person vergleichende Messungen des Herzschattens vorzunehmen, doch konnte dieses nur für bestimmte eng umgrenzte Fragen von Bedeutung sein. So hat sich denn gleich auch das Bestreben geltend gemacht durch besondere Vorrichtungen der eingangs geschilderten Art ein genaues Bild der Herzgröße bei der Durchleuchtung zu erhalten.

171. Geschichtliches. Schon in der 1897 erschienenen Monographie von Rosenfeld*) findet sich eine Methode, die diesem Zwecke dient, angegeben. Später haben Levy-Dorn und Boas dieses Ziel zu erreichen gesucht, indem sie die Röhre und andererseits einen Visierpunkt an einer seitlich den Patienten umfassenden Gabel einander unverrückbar fest gegenüberstellten und nun die zu untersuchende Person zwischen die Arme derselben brachten. Markiert man, indem man die Person so einstellt, daß der Visierpunkt auf die linke Herzgrenze zu liegen kommt, diesen Punkt auf der Oberfläche, be-

*) Wiesbaden, J. F. Bergmann.

wegt dann die Person soweit nach links, daß nunmehr der rechte Rand des Herzschattens unter dem Visierpunkt liegt und markiert diese Stelle, so hat man nach dem eingangs beschriebenen Versuch ein genaues Maß der Breite des Herzens.

Der nächstdem eingeschlagene Weg führte dahin, daß man die beiden unverrückbar verbundenen Pole: die Röhre und den Visierpunkt resp. einen an dessen Stelle gesetzten Zeichenstift nunmehr als ganzes System beweglich machte, sodaß die Röhre allen Bewegungen des Stiftes folgte und damit wurde allmählich der Übergang zu den jetzt diesem Zweck dienenden Apparaten gefunden. Indem Boas u. Grunmach Röhre und Stift an den Enden einer den Patienten von der Seite her umgreifenden Holzgabel anbrachten und den Stiel dieser Gabel in einem Stativ in horizontaler Richtung verschiebbar machten, waren sie imstande, die Breite des Herzens auf die Körperfläche zu zeichnen, ohne die Person zu bewegen.

Bei dem von mir im Jahre 1897*) konstruierten Apparate, bei welchem der Visierpunkt durch einen senkrecht gestellten Draht dargestellt war und die Röhre von oben herab gehalten wurde, wurden später Stift und Röhre an einer Achse angebracht, welche oberhalb des Patienten in einem Lager drehbar war, sodaß Stift und Röhre von rechts nach links eine halbkreisförmige Bewegung beschreiben konnten. Auf diese Weise war es möglich, rechte und linke Herzgrenzen genau zu bestimmen. Aber diese Versuche sind durch ein Verfahren, welches es ermöglicht, den Gesamtumriß des Herzschattens der wahren Größe des Herzens entsprechend aufzuzeichnen, überholt worden.

Dieser weitere Fortschritt wurde durch Moritz**) angebahnt, der von der liegenden Stellung des Patienten ausging. Er konstruierte einen Lagerungstisch, auf welchem eine an beiden Seiten in verschiedener Höhe feststellbare, auf- und abwärts bewegliche, barrenartige Lehne sich befindet; dieselbe trägt an ihrem oberen Rande zwei leicht drehbare horizontale Walzen, auf dieser ruht nun auf in senkrechter Richtung zu den Walzen der Lehne laufenden Walzen der eigentliche Zeichenapparat. Derselbe besteht aus einem oben angebrachten Leuchtschirm und einer über der Mitte desselben befindlichen Zeichenfeder, die durch ein in der Mitte des Schirms befindliches Loch bis zur Körperoberfläche des Patienten herabgelassen werden kann. Unterhalb des Tisches befindet sich an dieser Vorrichtung mit ihrer Antikathode genau unterhalb des Zeichenstiftes die Röntgenröhre. Dieselbe folgt, da ihr Lager un-

*) Zur Anwendung der Röntgenstrahlen in der inneren Medizin. Deutsch. med. Wochenschr. 1897.

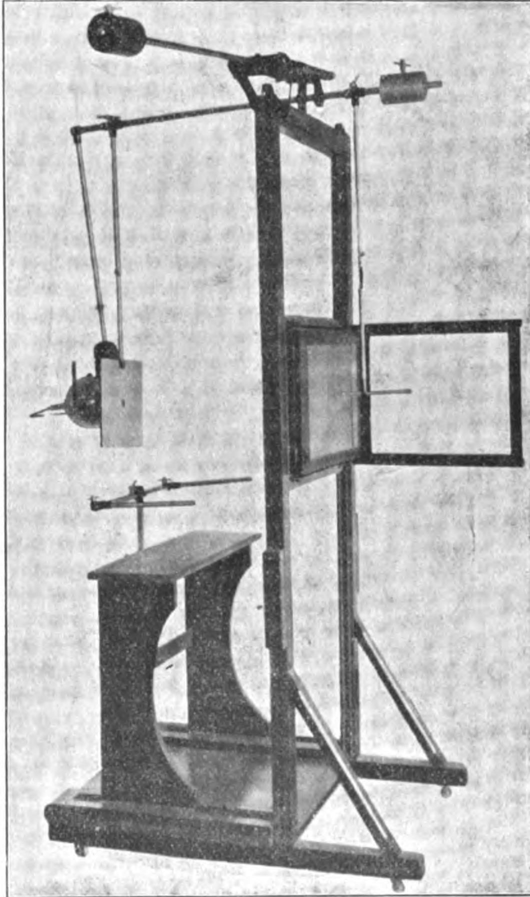
**) Münch. Med. Wochenschr. 1902, Nr. 1.

verrückbar fest durch seitlich herabführende Träger mit der oben befindlichen Zeichenvorrichtung verbunden ist, allen Bewegungen des Schreibstiftes. Indem man nun die sehr leicht bewegliche Vorrichtung über die Grenzen des Schattenbildes des Herzens hinführt und dabei von Zeit zu Zeit mit dem Schreibstift durch den Schirm hindurch einen Markierpunkt auf die Brusthaut des zu Untersuchenden macht, gelingt es auf der Brustfläche des Patienten die Grenzen des Herzschattens durch punktierte Linien aufzuzeichnen. Dieses Instrument nennt Moritz den „Orthodiagraphen".

Es sind seitdem eine Reihe weiterer Apparate, die dem gleichen Zweck dienen, konstruiert worden, wobei jeder einzelne Forscher wieder von der ursprünglichen Form seines Untersuchungsapparates ausging. Dem von mir bis dahin benutzten Apparat ging nur die Vertikalbewegung ab, um dasselbe zu leisten, was der Orthodiagraph von Moritz leistet, die Horizontalbewegung besaß er bereits. Die Vertikalbewegung wurde zunächst dadurch erreicht, daß der Klotz, welcher das Lager für die die Röhre und den Stift tragende Achse enthielt, dadurch beweglich gemacht wurde, daß er zwischen zwei seitlichen Schienen auf- und abwärts gleitend angebracht wurde, wobei das Gewicht der Vorrichtung durch eine über eine Rolle geleitete Schnur mit einem seitlich herabhängenden Uhrgewicht ausgeglichen wurde.*) Dieses war der erste für Vertikalaufzeichnungen des Schattenbildes konstruierte Apparat. Verbessert wurde er inzwischen dadurch, daß das Achsenlager statt in der Schienenführung am Ende eines Hebels angebracht wurde, welcher an seinem anderen Ende ein verschiebbares Gewicht trägt, dadurch war ein größerer Spielraum gewonnen und man konnte ohne Verstellung große und kleine Personen nacheinander untersuchen. Dadurch aber, daß der Apparat in Verbindung mit dem von mir ursprünglich angegebenen Untersuchungsgestell für Herzuntersuchungen bleibt, hat er gewisse Vorteile vor den übrigen später für Vertikalaufzeichnungen konstruierten Apparaten voraus. Dieses ursprüngliche Untersuchungsgestell besteht aus 2 senkrechten Pfosten, zwischen denen auf- und abwärts verschieblich ein Rahmen sich befindet. An demselben befinden sich kreuzweis gespannte Drähte, welche in oben und unten angebrachten Schienen gegen einander senkrecht beweglich gemacht sind. An den Schienen befindet sich Zentimetereinteilung. Durch verschiedene Stellungen dieser Drähte können die verschiedenen Punkte und Linien der Körperoberfläche, welche bei der Perkussion zur Orientierung dienen, markiert werden. Bei der Durchleuchtung erscheinen diese Drähte als schwarze Striche auf dem Schattenbilde. Es hat diese Ein-

*) Angegeben in „Pathol. und Therapie der Herzneurosen", Wiesbaden 1901. Zentralblatt für innere Medizin 1902. No. 19.

richtung zunächst den Vorteil, daß man, wenn man sich die Entfernung der Drähte, welche die Mittellinie und die Mammillarlinie markieren, aufschreibt, in der Lage ist, im nächsten Fall die Untersuchungsperson genau wieder so zu stellen, wie sie vorher gestanden hat, indem man die Drähte wieder auf dieselben Zahlen einstellt und die Person so stellt, daß die Drähte auf die betr. Linien zu liegen kommen. Dadurch wird dem Verdrehen der Person vor-



Figur 109.

gebeugt, welches sonst zur Folge hat, daß die Frontalebene nicht genau dem Schirm parallel steht. Daß letzteres der Fall ist, ist aber bei jeder Untersuchung die erste Vorbedingung; denn steht die Untersuchungsperson nicht genau frontal parallel zum Schirm,

so wird auch der aufgezeichnete Herzschatten nicht das Bild des größten Frontaldurchmessers des Herzens darstellen. Diese Frontalstellung läßt sich aber durch einen seiner Zeit von mir angegebenen Untersuchungsstuhl noch weiter sichern. Derselbe besteht aus einem ziemlich hochbeinigen Stuhl, dessen kreuzförmige Lehne in ihrem Fußpunkt auf- und abwärts verstellbar ist. Der Querbalken des Kreuzes soll unter den Schultern sich befinden, und zwar in einer Höhe, die es erlaubt, die beiden am Querbalken nach vorn vorspringenden geraden Halter unter den Achseln der zu untersuchenden Person durchzuschieben. Diese Halter sind seitwärts am Querbalken des Kreuzes verschiebbar und können der seitlichen Thoraxfläche genau angelagert werden. Sitzt die Person auf diesem Stuhl, so kann sie sich weder seitlich, noch nach vorn oder rückwärts bewegen. Nach vorn hin hindert der Untersuchungsrahmen, nach hinten die Lehne, die seitliche Bewegung wird durch die beiden unter den Armen befindlichen Halter verhindert. Die Verbindung der angegebenen Apparate miteinander erlaubt eine vollkommenere Art der Orthodiagraphie in aufrechter Stellung, die heute möglich ist.

Man kann die Frontalstellung auch bei stehender Person in verschiedener Weise sichern. Ein festes Anlehnen an den in dem Gestell verschiebbaren Rahmen bringt schon eine nahezu genügende Sicherheit der Stellung hervor, was man am besten daran beurteilen kann, daß die Drähte, welche die Mamillen markieren, vor und nach der Untersuchung noch genau in der richtigen Lage sich befinden. Noch besser und absolut sicher erreicht man die Fixierung, wenn man vermittelst breiter Segeltuchstreifen, die mit Schnallen versehen sind, den Patienten von hinten herum gegen das Gestell fixiert. Moritz erreicht die Fixation des Patienten durch ein mit Segeltuch bespanntes Gestell, an welchem verschieblich zwei die Schultern umfassende Kloben angebracht sind. Jedenfalls bedarf es bei stehenden und sitzenden Patienten einer Methode der Fixation, da sonst leichte Schwankungen des Körpers natürlich Ungenauigkeiten der orthodiagraphischen Zeichnung zur Folge haben.

Es hat sich nun eine lange Diskussion darüber entsponnen, welche Stellung für die Orthodiagraphie die am meisten vorzuziehende sei? Die Frage kann jetzt nur dahin beantwortet werden, daß Befunde, welche am stehenden Menschen gemacht sind, mit solchen, die in liegender Stellung aufgenommen sind, nicht verglichen werden dürfen, also entweder untersucht man nur immer in einer Stellung oder am besten jeden Patienten in beiden Stellungen. Die Rückenlage hat die ruhigere Stellung des Herzens namentlich bei der Atmung zur Folge, die aufrechte Stellung ist für die meisten Patienten angenehmer. Die Nachteile der liegenden Stellung sind durch die neuerdings am Moritz'schen Ortho-

diagraphen eingeführte Verstellbarkeit der Unterlage sehr vermindert worden. Der Patient kann sich zunächst auf dem nach Art eines Liegestuhles gebauten Untersuchungstisch setzen, dann wird der Oberkörper mit der Lehne zurückgeklappt, die Beine mit der Fußlehne gehoben und so die richtige Stellung eingenommen, ebenso wird der Patient beim Verlassen des Tisches in eine solche bequeme sitzende Stellung gebracht.

Die Aufzeichnungen mit meinem Apparat sind auf dreierlei Weise möglich. Zunächst befindet sich an demselben seitlich ein ebenfalls nach oben und unten verschiebbarer, auf dem Meßrahmen aufklappbarer, befestigter Leuchtschirm, derselbe ist mit einer Glasplatte bedeckt, auf diese kann durch Klammern leicht ein Blatt Pauspapier oder besser, weil ersteres sehr unscharfe Konturen gibt, ein Blatt glashelles Gelatinepapier fest aufgepreßt werden. Führt man nun die mit einem mit Stempelfarbe gefüllten Schreibstift armierte Schreibvorrichtung über das vor den Schirm geklemmte Blatt, so folgt die Röhre allen Bewegungen desselben und man kann auf dem Schirm zunächst, entsprechend den eingestellten Drähten, die drei Hauptmarkierungslinien der Thoraxoberfläche aufzeichnen. Dabei markiert man auch die durch eine Kreuzung der senkrechten Drähte mit einem Querdraht angedeuteten Mammillen (die Mittellinie muß man bei manchen Personen mit einem Lineal nachziehen, wobei das oben und unten über den Schirm hinausragende Drahtende mit einander verbunden wird; dieselbe hebt sich oft nicht deutlich ab). Dann umfährt man die Umrisse des Herzschattens mit dem Schreibstift und die Aufnahme ist fertig. Mehrere nacheinander gemachte Aufnahmen von derselben Person zeigten hierbei stets dieselben Bilder. 172. Methode der Orthodiagraphie.

Die meisten Beobachter sind schließlich darauf hingekommen, daß, wie ich von vornherein betont habe, Markierungen gewisser Punkte der Körperoberfläche bei der orthodiagraphischen Zeichnung notwendig sind, um die Zeichnungen nachher miteinander vergleichen zu können. Albers-Schönberg hat einen meiner Vorrichtung sehr ähnlichen Aufnahmerahmen kürzlich bekannt gegeben. Grunmach nimmt ebenfalls durch aufgesetzte Taster Markierungen vor, und Moritz empfiehlt einen Teil des Brustskeletts aufzuzeichnen. Gewiß haben Skeletteile gegenüber den Mammillen den Vorzug größerer Unbeweglichkeit, doch, wie mich meine 10jährige Erfahrung lehrt, pflegt sich wenigstens bei mittlerer Atmung der Stand der Mammillen in aufrechter Stellung nicht wesentlich zu verändern; dies gilt für Männer; bei Frauen allerdings sind unter Umständen größere Verschiebungen möglich.

Nun kann man an dem Halter des Schreibstifts auch einen kleinen Leuchtschirm (13 : 18 cm), der in der Mitte durchlocht ist,

so anbringen, daß der federnde Stift genau durch die Öffnung hindurch vorgeschoben werden kann. Bei dieser Armierung des Apparates kann man zunächst, genau wie bei Moritz, die Konturen des Herzschattens direkt auf die Brust der betreffenden Person oder auf gewöhnliches Schreibpapier aufzeichnen. Letzteres wird dadurch erreicht, daß man eine Holzplatte aus weichem Holz, die ebenfalls wie der große Leuchtschirm von der Seite her vermittels eines Scharniers auf den Rahmen geklappt werden kann, als Schreibunterlage benutzt. Auf diese wird mit Heftstiften ein Blatt Schreibpapier befestigt. Auf dem kleinen über die Fläche weggeführten Schirm sieht man nun sowohl — wie bei der ersten Untersuchung — die Drahtschatten, als auch den Herzschatten. Indem man Stift und Schirm so führt, daß die schwarz erscheinende Mittelöffnung des Schirms den Drähten und Schattenkonturen entlang geführt wird, kann man durch Vorschieben des Stiftes direkt alles auf Schreibpapier aufzeichnen.*)

Es sind inzwischen zahlreiche Modifikationen der Orthodiagraphen konstruiert. So ist eine diesem Zweck dienende Vorrichtung von Hirschmann (Berlin) konstruiert, der meinigen in manchen Punkten ähnlich. An dieser ist ebenfalls an einem Doppelhebel drehbar die Achse mit der Röhre und dem Zeichenstift angebracht. Dieselbe hat den Nachteil, daß der Patient nahezu ganz frei steht, infolgedessen unvermeidliche Schwankungen desselben bei der Untersuchung das Resultat unsicher machen. Weitere Apparate sind von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft mit Verbesserungen von Boas und Grunmach konstruiert. Dieselben erlauben Aufnahmen von Bildern in senkrechter und horizontaler Lage, an letzterem ist auch eine Vorrichtung angebracht, welche eine gleichmäßige Stellung des Patienten zum Apparat sichern soll. Auch von Levy-Dorn ist ein „Universalstativ“ angegeben, welches ebenfalls orthodiagraphische Aufzeichnungen erlaubt, sowohl in aufrechter als horizontaler Stellung.

Zu erwähnen ist noch der äußerst praktische, von Ingenieur Dessauer konstruierte Orthodiagraph, der seitlich an einem Untersuchungsgestell angebracht ist, in der Stellung leicht verändert werden und für stehende und liegende Aufnahme nutzbar gemacht werden kann. Von Grödel ist der Levy-Dorn'sche Apparat dahin modifiziert worden, daß er mit einem Untersuchungstisch fest verbunden und die Zeichenebene hinter der Röhre angebracht wird, wodurch sich einige Vorteile ergeben. Auf sonstige Modifikationen, die wesentliche Vorteile nicht gebracht haben, will ich hier nicht weiter eingehen.

*) Der Apparat wird von der Firma vorm. „Elektrotechnisches Laboratorium“, jetzt „Veifa-Werke“, Aschaffenburg, hergestellt.

Die Indikationen zur Orthodiagraphie sind, wie schon erwähnt, wesentlich auf die Brustorgane begrenzt. Man kann allerdings mit derselben auch die Größe und Lage eines im Körper befindlichen Fremdkörpers feststellen, doch wird dieselbe für solche Zwecke, da es sich in solchen Fällen meist um Projektile bekannten Kalibers handelt, nur selten in Frage kommen. Auch wird man schwerlich Knochendeformitäten aufzeichnen, da die photographische Aufnahme derselben objektiv weitaus sicherere Resultate gibt und die Größenverhältnisse genügend aus der Photographie abgeschätzt werden können. So kommen nur Aneurysmen und Tumoren im Thoraxraum und besonders das Herz in Frage. 173. **Indikationen.**

Neuerdings hat die Orthodiagraphie auch für die Unterleibsorgane eine größere Bedeutung erlangt. Rieder hat zuerst die Methode der Ausfüllung des Magens mit Wismuthbrei zu photographischen Aufnahmen benutzt. Holzknecht baute auf dieser Methode eine Orthodiagraphie des Magens auf. Zu diesem Zweck nimmt der Patient ein großes Quantum stark mit Wismuth versetzten Breies zu sich, der Brei markiert sich als ein dunkler Schatten und legt sich den Formen des Magens und später auch des Darmes fest an. Es ist so sogar gelungen, Tumoren der großen Kurvatur durch die von ihnen gesetzten Einbuchtungen des Schattens zu diagnostizieren. Jedoch stehen diese Methoden noch im Anfang ihrer Entwickelung, so daß sie neben den Untersuchungen am Thorax noch nicht in den Vordergrund treten.

Das Hauptanzeigen für die orthodiagraphische Untersuchung ergibt also die Feststellung der Größenverhältnisse des Herzens.

Zur Feststellung der Größenverhältnisse des Herzens diente bis dahin ausschließlich die Perkussion, die aber in ihrer gebräuchlichen Ausführung oft recht unzuverlässige Resultate gibt.

Allerdings haben wir heute Methoden, so die Schwellenwert-Perkussion von Goldscheider, auch Orthoperkussion genannt, die Ebstein'sche palpatorische Perkussion und andere, welche doch ziemlich genaue Resultate ergeben, so daß die Perkussion wie durch die Orthodiagraphie kontrolliert wurde, sehr an Vollkommenheit gewonnen hat und man nicht mehr sagen kann, daß sie eine so ungenaue Methode sei, wie man früher annahm. Aber trotzdem wird die Orthodiagraphie ihren hohen Werth beibehalten, zwar nicht als alltägliche und notwendige Untersuchungsmethode in der Hand des praktischen Arztes, wohl aber in erster Linie für wissenschaftliche Zwecke und weiterhin namentlich für Krankenhäuser und für die mit der Anwendung der Röntgenstrahlen besonders vertrauten Ärzte.

Die zur Orientierung herangezogene Lage des Spitzenstoßes

des Herzens bezeichnet doch nur im günstigsten Falle einen einzigen Punkt der Herzperipherie, und es ist dieser Orientierungspunkt nur von zweifelhaftem Wert, zumal da feststeht, daß der Spitzenstoß bei verschiedenen Körperstellungen, bei verschiedener Füllung des Magens, dei Erweiterung der Lungen, bei Tiefstand und bei Lähmung des Zwerchfelles und unter sonstigen Umständen seine Lage wechselt.

Die von manchen Seiten empfohlene Bazzi-Bianchi'sche „Frictionsmethode“ ist als wissenschaftliche Methode unhaltbar. Die von ihr behaupteten Resultate sind von keinem, der dieselben nachgeprüft hat, bestätigt worden; sie beruht auf der Annahme physikalischer Unmöglichkeiten.

Es ist demnach eine Methode, welche die genaue Feststellung der Herzgröße ermöglicht, auch heute noch nicht gefunden worden. Die Radioskopie in Verbindung mit der Orthodiagraphie ist bei Anwendung der notwendigen Vorsichtsmaßregeln wohl von allen bis jetzt bekannten Methoden die zuverlässigste. Diese Vorsichtsmaßregeln müssen zunächst darin bestehen, daß der Patient genau parallel mit seiner Frontalebene zum Leuchtschirm sitzt, daß Stift und Antikathode einander möglichst genau gegenüberstehen. Natürlich muß zu einer genauen Untersuchung hinreichende Übung des Untersuchers vorausgesetzt werden. Daß diese notwendig ist, kann nicht genug betont werden.

Die Ergebnisse der Orthodiagraphie sind natürlich auch beschränkt, denn diese gibt nicht die Ausdehnung des Herzens genau in der wirklich größten Längs- und Querrichtung oder den denkbar größten Herzumfang wieder, sondern die Größe einer Ebene, welche durch den größten frontalen Durchmesser des Herzens gelegt ist. Bei Achsendrehung des Herzens, beim Zurücksinken des Herzens nach hinten, beim Abwärtssinken der Herzspitze werden andere Querschnitte des Herzens gezeichnet, wie bei der normalen Lage des Herzens. Nun fehlen noch bisher, abgesehen von den Moritzschen Untersuchungen, hinreichende Feststellungen über die normale Größe dieses Schattenbildes. Es muß demnach zu jeder Körpergröße eigentlich erst das normale Maß gefunden werden. Zu vergleichenden Untersuchungen bei demselben Individuum ist die Methode schon jetzt vollkommen ausgebildet, und sie hat besonders dazu beigetragen, die Lehre von der akuten Herzdilatation bei Gesunden zu erschüttern.

Aus den Ausführungen, welche über die Atmung gemacht sind, über Systole und Diastole des Herzens, geht schon hervor, daß eine absolute Genauigkeit auf Millimeter durch die Orthodiagraphie nicht zu erzielen ist. Die Lage des Herzens im Brust-

korbe unterliegt den verschiedensten Einwirkungen. In der Diastole ist das Herz ein schlaffer Sack, dessen Form immerhin von den Organen der Umgebung abhängig ist, ebenso ist die Aufhängung des Herzens eine derartige, daß dasselbe um seinen Aufhängungspunkt je nach der Körperstellung pendelt. Normaler Weise liegt das Herz dem Zwerchfell auf und folgt den Bewegungen desselben dadurch, daß der mit dem Zwerchfell verwachsene Herzbeutel beim Tiefertreten des Zwergfelles in seiner Längsrichtung gespannt wird, auch bei Seitenlage. Man sieht deutlich, wie die Herzspitze bei Seitenlage bei der Atmung nach der Mitte und abwärts zu gedrängt wird. Doch ist trotz aller dieser möglichen Einwirkungen auf die Form des diastolischen Herzens die Tatsache bemerkenswert, daß bei gleichen oder nahezu gleichen Bedingungen bei demselben Menschen das Herz für gewöhnlich eine konstante Form zeigt.

Dieses ist von Moritz durch zahlreiche Messungen, die er und seine Assistenten an verschiedenen Menschen zu verschiedenen Zeiten vorgenommen haben, durch lange Reihen hindurch nachgewiesen, und ich selbst habe, was die aufrechte Stellung angeht, bei denselben Personen, die ich zum Teil innerhalb Jahresfrist mehr wie zehnmal untersuchte, eine auffallende Konstanz der Herzform gefunden. Demnach muß festgehalten werden, daß trotz der theoretischen Möglichkeit einer Formveränderung des Herzens durch die verschiedensten Umstände bei Einhaltung derselben Versuchungsbedingungen, worin ich Moritz zustimmen muß, bei Rückenlage am leichtesten ein richtiges Bild zu erzielen ist. Immerhin ist zu bedenken, daß wir nicht den ganzen Körper des Herzens darstellen, sondern nur den Schattenriß einer Ebene, deren genaue Lage wir nicht bestimmen können. Je nachdem die Herzspitze nach vorn oder hinten gelagert ist, entspricht diese Ebene dem wirklich größten Durchmesser oder einem nicht die größte Ausdehnung des Herzens treffenden Durchmesser.

Die Anwendung des Verfahrens gestaltet sich nun folgendermaßen: Bei dem Moritz'schen, für horizontale Untersuchungen eingerichteten Apparat wird der Kranke flach auf den Untersuchungstisch gelegt, sodaß beide Schultern der Unterlage wohl anliegen, dabei kann man den Kopf durch eine Rolle oder ein Keilkissen etwas stützen. Nachdem der Kranke gelagert ist, wird das Zeichengestell über den Tisch gelegt, sodaß es auf den seitlichen Walzen aufliegt, dann wird die Seitenlehne soweit herabgelassen, daß der herabgelassene Zeichenstift überall die Brusthaut erreichen kann, also etwa 1—2 cm von der Brustmitte entfernt. Man stellt nun Punkt für Punkt der Herzkontur unter Verschie- 174. Praktische Anwendung.

bung des Leuchtschirmes so ein, daß die Durchbohrung des Leuchtschirmes, welche durch einen Metallring markiert ist, genau auf die Grenze des Herzschattens kommt, und markiert durch Herablassen des Zeichenstiftes jedesmal die Stelle, welche den Schatten begrenzt. Man beginnt an der Herzspitze und geht den linken Konturen des Herzens entlang nach oben.

Bei dem von mir angegebenen Zeichenapparat für senkrechte Stellung des Körpers wird der Patient zunächst hinter den Schirm gestellt; er setzt sich dann leicht auf den Sitz, wobei dieser möglichst stark vorgeschoben wird. Es befindet sich nunmehr der Körper des Patienten zwischen dem mit Drähten bespannten Meßrahmen vorn und der Lehne des Stuhles hinten. Letztere ist zunächst ziemlich niedrig gestellt und wird, während der Patient die Arme seitwärts hebt, soweit emporgeschoben, daß die Stützleisten unter den Achseln zu liegen kommen, diese selbst werden dabei auf die Thoraxbreite des Patienten eingestellt. Läßt der Patient nun die Arme sinken, so begegnet er bei jeder Bewegung nach rechts oder links, vor- oder rückwärts einer festen Stütze, und es sind Verdrehungen des Körpers bei der Aufnahme nicht möglich. Die Aufzeichnung erfolgt in derselben Weise, wie in der liegenden Stellung, man beginnt bei der Herzspitze und geht von da nach oben. Auf der rechten Seite beginnt man am Herzzwerchfellwinkel und zeichnet ebenfalls aufsteigend auf. Bevor man das Herz aufzeichnet, werden die auf den Schirm sich deutlich markierenden Orientierungslinien der Körperoberfläche aufgezeichnet. Die verschiebbaren Drähte werden nämlich, nachdem der Patient sich gesetzt hat, auf die Mittellinie und die beiden Mammillarlinien eingestellt, durch einen diese Linien kreuzenden Querdraht werden die Orte der Mammillen festgelegt. Nachdem die Aufzeichnung der Drahtlinien und der Herzkontur fertig ist, hat man ein Bild des Herzens in der Frontalebene nebst den Orientierungslinien der Körperoberfläche, alles in senkrechter Projektion auf dem Zeichenblatt sofort fertig. Will man den stehenden Patienten untersuchen, so wird derselbe mittelst der Segeltuchstreifen hart gegen den Meßrahmen gedrängt und so fixiert.

Man kann diese Markierung in zweierlei Weise vornehmen, indem man auf einem Gelatinepapierblatt über dem mit Glas bedeckten Leuchtschirm aufzeichnet, oder indem man mit einem durchlochten kleinen Schirm über ein Zeichenbrett, welches ebenfalls an dem Apparat angebracht wird, sodaß es seitlich über den Rahmen geklappt werden kann, und auf welches ein Blatt gewöhnliches Schreibpapier geklemmt ist, in derselben Weise hinfährt, indem man die einzelnen Punkte markiert. Letztere Einrichtung

erlaubt auch, die Herzkonturen direkt auf die Brust des Patienten aufzuschreiben, sodaß man mit diesem Apparat sämtliche Arten der Orthodiagraphie ausführen kann. Bei dem Moritz'schen Apparat muß man dadurch, daß man eine Glasplatte auf die Brust des Kranken legt, auf diese die Herzkonturen von der Oberfläche des Körpers abpausen. Beim Boas-Grunmach'schen Apparat kann man nur Aufzeichnungen auf Papier machen. Je nach dem Zweck, den man mit der Untersuchung verbindet, wird man eine andere Methode wählen. Von der direkten Aufzeichnung auf die Brust des Kranken bin ich immer mehr abgekommen, da es im Wesentlichen doch darauf ankommt, das Bild der Herzgröße aufzubewahren und zu späteren Vergleichen heranzuziehen. Die Methode mit Aufzeichnung des Herzens auf Gelatinepapier ist für vergleichende Untersuchungen bei demselben Patienten zu verschiedenen Zeiten außerordentlich geeignet, da man sämtliche aufgezeichneten Bilder durch Übereinanderlegen der Gelatineblätter leicht zur Deckung bringen kann und auf diese Weise leicht konstatieren kann, welche Eingriffe oder Schädlichkeiten auf die Herzgröße eingewirkt haben.

Praktisch ist es, einen Teil der übrigen Organe der Brusthöhle mit aufzuzeichnen, so die Lungen, das Mediastinum oder auch Teile des Brustskeletts. Es entstehen dadurch sehr instruktive Zeichnungen, welche ganz besonders die Wirkungen erheblicher Vergrößerungen des Herzens auf Lage und Form der Lungen erkennen lassen.

Das aufgezeichnete Herzbild kann nun auch nach bestimmten Richtungen hin mit dem Zentimetermaß ausgemessen werden. Als Ausgangspunkt dient die Mittellinie des Körpers. Von der Herzspitze und auch von dem Punkte, der am weitesten nach rechts liegt, wird eine senkrechte auf die Mittellinie gefällt, und diese beiden Lote bezeichnen ungefähr den Durchmesser des linken Ventrikels und den des rechten Vorhofes. Die Linie von der größten Konkavität rechts bis zur Herzspitze entspricht dem größten Durchmesser des Herzens. Ebenso läßt sich von dem Leber-Herzwinkel rechts zur größten Konkavität nach links eine Linie legen, welche ungefähr dem Durchmesser des rechten Ventrikels entspricht. Nimmt man die Zeichnung vermittels des Meßapparates auf, so ist man in der Lage, auch die Parasternallinie durch einen senkrechten Draht einzustellen. Will man nicht die Orientierungslinien der Oberfläche, wie sie von altersher zur Bestimmung der normalen und pathologischen Herzgröße herangezogen werden und so einen guten Vergleich mit den Ergebnissen der Perkussion erlauben, heranziehen, so wird man die oben genannten Linien in Zentimetern ausmessen

und aufschreiben; man kann auch nach Moritz' Vorschlag den Flächeninhalt des Herzschattens berechnen, indem man aus einem Papier, welches mit einer Linieneinteilung in Quardrat-Zentimetern versehen ist, den Herzschatten genau ausschneidet, wobei man sich die unteren und oberen Herzgrenzen durch Kombination zu konstruieren hat. Zählt man die auf das ausgeschnittene Stück kommenden Quadrate, so hat man die Größe des Herzschattens in Quadratzentimetern. Letztere Messung beruht stets auf zum Teil mehr oder weniger willkürlich angenommenen Begrenzungen und kann eine absolute Richtigkeit nicht beanspruchen. Die Frage der Notwendigkeit resp. Zweckmäßigkeit der orthodiagraphischen Untersuchung im Einzelfalle erledigt sich mit der Frage, ob es wünschenswert ist, eine möglichst genaue Bestimmung des Verhaltens des Herzens in diesem Falle zu besitzen. Man wird vor allen Dingen in zweifelhaften Fällen von Herzvergrößerung, ferner bei dem Studium der Wirkungen von Anstrengungen, Alkohol und sonstigen Schädlichkeiten auf das Herz vermittels der Orthodiagraphie genaue Feststellungen erstreben. Es scheint aber auch heute schon keine Frage mehr zu sein, daß diese Methode, je mehr sich das dazu benötigte Instrumentarium vervollkommnet und je sicherer und einfacher dadurch die Untersuchungen werden, für die gesamte Herzdiagnostik eine große Zukunft hat.

Von großer Wichtigkeit ist es, daß der Apparat zur Untersuchung stets bereit steht und da ist. Wenn man genötigt ist, häufige Untersuchungen vorzunehmen, wie in Krankenhäusern, so ist der Besitz von zwei Orthodiagraphen, einem für liegende und einem für aufrechte Aufnahmen, von Vorteil. Das Umwechseln, welches ja bei dem Levy-Dorn'schen und dem nach diesem konstruiertem Grödel'schen Apparat möglich ist, so daß man denselben Apparat bei stehenden und liegenden Patienten anwenden kann, hat doch viele Umständlichkeiten und Unbequemlichkeiten im Gefolge. Wie überall in der ärztlichen Techniek, so muß auch hier nach der größten Einfachheit und Bequemlichkeit der Anwendung gestrebt werden, und dieses ist nur möglich, wenn zwei Apparate gebrauchsfertig zur Verfügung stehen.

Die Schnelligkeit, mit der die Untersuchung erfolgen kann, wenn eben der Apparat stets zum Gebrauch fertig steht, die wachsende Übung des Einzelnen, daneben die zunehmende Kenntnis der bei normalen und pathologischen Verhältnissen zu erwartenden Befunde, wird der Methode in Zukunft nicht nur in Kliniken und Krankenhäusern, sondern auch in der Praxis zur weiteren Anerkennung verhelfen.

III.

MEDIZINISCHER TEIL.

1. Kapitel.

Die radiologische Diagnostik in der inneren Medizin.

(Mit 22 Tafelabbildungen.)

Von Dr. Guido Holzknecht,
Privatdozent für medizinische Radiologie. Leiter des Institutes für radiologische Diagnostik und Therapie im k. k. allg. Krankenhause in Wien.

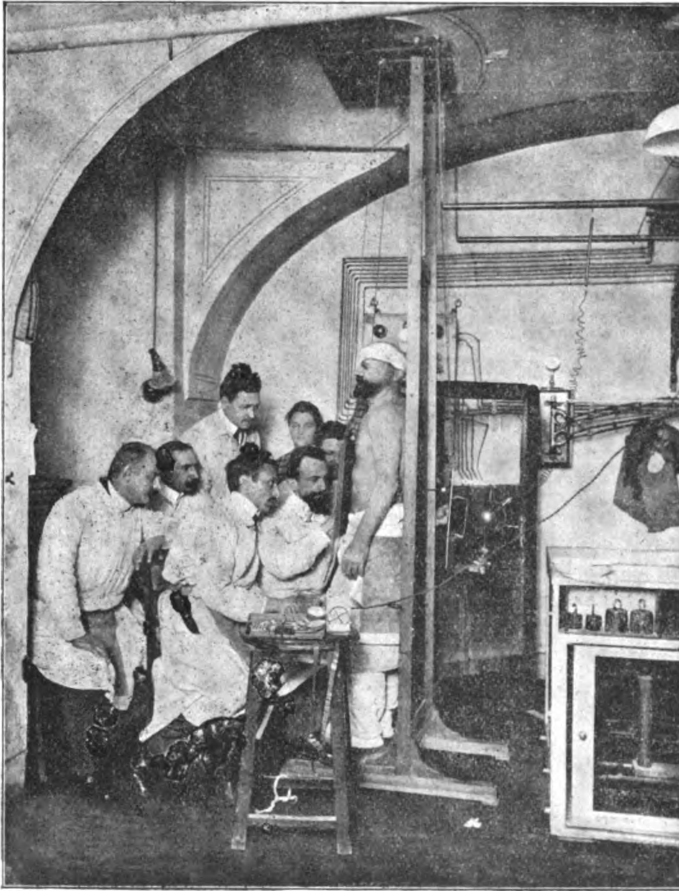
Die Untersuchung des Thorax und Abdomens ist durch das Überwiegen der subtil ausgestalteten Schirmuntersuchung über die graphische gekennzeichnet, an deren Vervollkommnung der Verfasser seit langem tätig ist.

Für alle das Mediastinum betreffenden Fragen kann die photographische Aufnahme vollständig entbehrt werden. Diese massiven Gebilde erscheinen am Schirm vollkommen deutlich, ihre Bilder gewinnen durch die Radiographie nichts, sie verlieren nur an Randschärfe durch die unvermeidliche Pulsation. Dagegen übertrifft das Radiogramm der Lungen und ihrer Verdichtungsprozesse das Schirmbild derselben bei weiten, vorausgesetzt, daß die Aufnahme in Atemstillstand (Levy-Dorn) am oberen Thorax, auch einfacher durch mechanische Sistierung der Rippenatmung (Robinsohn'sche Schlitzbinde) gemacht wird. Bei den Abdominalorganen fällt der Verdauungstrakt vorwiegend der Durchleuchtung, der Urogenitaltrakt der photographischen Aufnahme zu.

Die Durchleuchtung wird zweckmäßig mit übermittel-harter Röhre und stets mit der Bleiblende zwischen Rohr*) und Patient vorgenommen. Die Blende sei schwerlos aufgehängt, und die Röhre an und hinter ihr in vertikaler Stellung ihrer Achse befestigt. Auch der Leuchtschirm sei an Schnüren, die über Rollen laufen, und mit Gewichten äquilibriert aufgehängt. Zwischen beiden werde eine vertikale Wand aufgestellt, auf deren breitem Fußbrett der Kranke Stellung nimmt, so daß sie ihm zum Anlehnen dient. Ein Querbrett an ihrem oberen Ende trägt die Rollen, über die die

*) Bauer, Müller am meisten empfehlenswert.

Schnüre von Schirm und Blende laufen. Die Wand ist bei jeder Durchleuchtung vorteilhaft, bei der Durchleuchtung des Abdomens



Figur 110.

zwecks Ausübung der Kompression mit dem Schirm notwendig.*) (Siehe Fig. 110). Das fleißige Nachzeichnen der Schirmbilder auf ein-

*) Diese Vorrichtung wird, wie alle nicht patentierten, von den Fabrikanten nicht empfohlen, und darum trotz ihres hohen praktischen Wertes relativ wenig benützt. Alle anderen Durchleuchtungsvorrichtungen komplizierterer Art halte ich für minder zweckmäßig.

gelegten Glasplatten ist empfehlenswert. Aufnahme im Stehen an der Durchleuchtungswand oder im Liegen am Trochoskopie bei protahiertem respiratorischem Stillstand nach längerem, tiefem Atmen (Apnoë). Aufnahme mit Wehnelt-Unterbrecher in $^1/_4$ bis $^1/_2$' und kürzer. Oder ohne Atemstillstand im Stehen vor der Durchleuchtungswand auf hinter den Schirm gehaltener Platte. Lungenspitzen mit Kompressionsblende. Betrachtung der Platten in diffusem Lichte (Negativbühnen).

Die Teile der normalen sagittalen Thoraxbilder (der Mittelschatten und die beiden Lungenfelder), der frontalen (Herz, Retrokardial- und Retrosternalfelder) und der ersten schrägen Richtung (Wirbelsäule, Herz- und Gefäßschatten — Lungenfelder und helles Mittelfeld) nehmen mit jeder neuen Röhrenstellung (Seiten-, Hoch- und Nahestellung) andere Formen an, welche zunächst morphologisch studiert und dann anatomisch gedeutet werden mußten (Taf. I, Fig. 1). Desgleichen die Bewegungserscheinungen in denselben. Hierauf kann an die Beurteilung pathologischer Bilder gegangen werden.

Das vertikale helle Band im Bilde der Hals- und oberen Brustwirbelsäule ist die Schattenaussparung der Trachea. Es zeigt durch seine mannigfache abnorme Lage die Dislokation der Luftröhre an (Taf. I, Fig. 1—5). Auf Radiogrammen kann auch ihre Kompression erkannt werden. Wird die aus Larynx, Trachea und Bronchien bestehende Kette gespannt (Aneurysma, Tumor, Zwergfelltiefstand), so entsteht, manchmal zugleich mit Cardarelli's Symptom, Hebung der genannten Gebilde, respektive der normalen Aorta und selbst des Herzens beim Schlucken. Bei raschem einseitigen Kapazitätsverlust einer Lunge, also besonders bei Bronchostenose, doch auch aus anderen Gründen, schiebt sich als Kompensation inspiratorisch das Mediastinum in die kranke Thoraxseite.

In den Lungen ist von einer gewissen Größe des Herdes an (je nach der Lage Nuß- bis Haselnußgröße) alles wahrnehmbar, was an Stelle des durchgängigen Lungengewebes durch Verdrängung oder Substitution ein dichteres, kompakteres Gewebe setzt, also pneumonische, gangränöse, eitrige, tuberkulöse Infiltration, Infarzierung, Neubildung, (siehe Taf. I u. II, Fig. 3, 5, 6, 11, 12) dann Schwartenbildung der Pleura und pleurale Ergüsse, (siehe Taf. I u. II, Fig. 4, 8, 11) ferner alles, was an Stelle des normalen rarefiziertes Lungengewebe (Emphysem) oder bloßes Gas setzt, also Kavernen, Pneumothorax (Taf. I u. II, Fig. 3, 5, 12). Die einzelnen Affektionen unterscheiden sich überdies durch ihre Lieblingsformen und Lokalisationen.

Die Lobarpneumonie (Taf. I. Fig. 6) gibt typische, geo-

metrisch aus der Lappenform ableitbare Bilder, welche nicht selten auch von der Tuberkulose der Lungen imitiert werden. Wegen der Schräglage der Lappengrenzen täuscht Infiltration gewisser Lappen größere Herde vor. Infarkte unterscheiden sich fast nur durch ihre Lieblingslokalisation (sorgfältiges Absuchen der Lungenränder mittels extremer Röhrenstellungen) von anderen Verdichtungsherden, unter denen Gangrän und Abzeß wegen ihrer chirurgischen Therapie der radiologischen Lokalisation bedürfen. Die pleuralen Ergüsse, am frühesten in den Pleurasinus nachweisbar (Taf. I, Fig. 10), nehmen fast stets die basalen Lungenpartien ein nach oben schräg (von außen nach innen abfallend) begrenzt (Taf. I, Fig. 1) und das Mediastinum dislozierend.

Die tuberkulöse Infiltration setzt, je nach der anatomischen Form klein- und großherdige Schattenmassen von verschiedener Ausdehnung (Taf. I. Fig. 3). Die einzelnen Herde beeinflussen gegenseitig ihre Bilder in mannigfacher Weise und lassen, ganz abgesehen von der Lage im Thorax, die auf das Aussehen der Herdschatten Einfluß hat, bisweilen differente, progredienten und schrumpfenden Herden zukommende Formen erkennen. Im ganzen erhält man in vorgeschrittenen Fällen (und zahlreiche „Spitzenkatarrhe“ fallen in diese Rubrik) radiologisch das bei weitem beste Übersichtsbild der bestehenden Ausdehnung des Prozesses, ein sinnfälliges Bild der verlorenen und restierenden Lungenkapazität. Bei Phthisis inzipiens im klinischen Sinne, wo minimale und umfangreiche, junge und alte Herde unter dem Bilde des Spitzenkatarrhs verlaufen, differenziert die Methode in einer den anatomischen Verhältnissen näherstehenden Art, indem sie die wirkliche, anatomische Phthisis inzipiens übersieht, die übrigen Formen nach Größe und Art der Herde unterscheidet. Viel kleinere Cavernen (Taf. I u. II, Fig. 3 und 12) als klinisch, schon haselnußgroße, können, günstig gelegen, radiologisch erkannt werden. Ein dunkler, einen hellen Kreis einschließender Schattenring, dessen innerer Rand sich scharf von der zentralen Scheibe abhebt, während der äußere allmählich abklingt ist das charakteristische Bild der entleerten Destruktionskaverne. Die mehr minder gefüllte zeigt ein Flüssigkeitsniveau das in allen Körperlagen horizontal steht (Taf. I, Fig. 3). Veränderungen der Schattenverhältnisse vor und nach Expektoration bilden ein weiteres Kavernensymptom, das auch anderen, mit den Bronchien kommunzierenden Höhlen eignet. Unscharf, begrenzte, helle Stellen im Infiltratschatten sind mehrdeutig.

Kugelform mit scharfen gleichmäßig gerundeten Rändern bevorzugen die Metastasen maligner Tumoren und die Lungenecchinococcen (Fig. 12).

Die dichten Schatten der Ergüsse erlauben keine Unterscheidung ihrer Natur (Exsudat — Transsudat — Blut — Eiter). Ihre Beweglichkeit ist, seltene Fälle ausgenommen, gering; kleine müssen sorgfältig mittels extremer Röhrenstellungen und anderer Mittel besonders in den basalen Rändern aufgesucht werden (Taf. I, Fig. 10). Der mit Pneumothorax (Taf. I, Fig. 5) kombinierte Erguß zeichnet sich durch seine unveränderliche Horizontalität aus. Die anderen kehren in die Horizontale zurück, er bleibt in derselben und macht nur, wenn erschüttert, Bewegungen. 1. Sichtbare Succussio Hippokratis. 2. Rhythmische Undulation synchron mit dem Herzstoße, ferner paradoxe Respiration (Kienböck-Bouchard, inspiratorische Hebung, exspiratorische Senkung). Über dem horizontalen Niveau des Ergusses teilt sich der überaus helle gasgefüllte Pleuraraum und der dunkle kollabierte Lungenstumpf, dessen Größe ein Urteil über die Ausdehnung seiner Infiltration erlaubt, in den Rest des „Lungenfeldes“.

Obliteration der Pleurahöhle ist in den basalen Partien durch die pathologische Abänderung der Zwerchfellbewegung (Taf. II, Fig. 11) erkennbar.

Von der abnormen Helligkeit abgesehen, besitzt die Lungenblähung noch weitere radiologische Symptome: die Vergrößerung des Lungenfeldes nach unten, die mangelhafte oder fehlende basale Aufhellung des Lungenfeldes (ein normalerweise höchst auffallendes Phänomen), mangelhaftes „sichtbares Litten's'sches Zeichen“, Steilstellung des Herzens und Schlinghebung des Aortenbogens.

Der normale, unten breite, oben schmale, Mittelschatten (Taf. I, Fig. 1, 7) wird durch Herz und Gefäße gebildet. Er begrenzt sich (Weinberger) links durch drei Bogen (Aorta, linker Vorhof und linke Kammer), rechts durch eine Verticale und einen sehr flachen Bogen (Cava descedens, rechter Vorhof). Die Schattenränder zeigen entsprechende pulsatorische Bewegungen. Im linken schrägen Durchmesser gesehen (Taf. II, Fig. 9), tritt die Wirbelsäule aus dem Mittelschatten heraus und dieser zeigt nun die Herzsilhouette und als obere Fortsetzung derselben ein stumpf endendes, schmales Band, das durch die aufeinander projizierten Schatten der Aorta ascendens und descendens und des vorderen und hinteren Bogenanteiles gebildet wird. Die Größenveränderungen der einzelnen Anteile haben mannigfache Formveränderungen des Mittelschattens (Taf. I, Fig. 7) zur Folge, die dann typisch sind, wenn sie gewisse Teile kombinieren. Allgemeine Stauung bewirkt ausgleichende Verbreiterung oben, Dilatation und Hypertrophie des linken Ventrikels eine abnorm hohe breite Herz-Figur mit plumper Herzspitze etc. Gemessen wird die größte quere Breite approximativ durch große Entfernung

von der Röhre (praktisch zureichend, weil die Fehler innerhalb der physiologischen Schwankungen liegen) exakt mittels der Orthodiagraphie. Den Körpergrößen 125, 150 und 175 cm entsprechen normalerweise 9, 11 und 12 cm basale Herzbreite (Levy-Dorn). Die Lungenblähung ist nicht nur kein Hindernis für die Erkennung der Herzgröße, sie verbessert sogar die Bildverhältnisse. Dislokationen des Herzens sind begreiflicherweise in die Augen springend. Situs inversus wegen der Differenz des rechten und linken Schattenrandes leicht zu erkennen, desgleichen der damit verbundene Situs inversus aortae. Bei den einzelnen Klappenfehlern treten außer entsprechenden Größenveränderungen der Herzanteile abnorme Bewegungserscheinungen auf. Bei Aorteninsuffizienz großer Aortenpuls (Aneurysmenschatten zeigen selbst bei bestehender Aorteninsuffizienz kleinen Puls; großschlägiger Randpuls spricht gegen Aneurysma!). Bei Mitralinsuffizienz positiver Puls des linken Vorhofes, bei Trikuspidal-Insuffizienz positiver Puls des rechten Vorhofes und der Vena cava descendens.

Größere Aneurysmen der Brustaorta (Taf. I, Fig. 8 siehe auch Fig. 10), auch wenn sie physikalisch noch nicht zugänglich sind machen radiologisch keine erheblichen Schwierigkeiten, wenn man sich daran hält, daß die scharfrandigen, gleichmäßig gerundeten Säcke an nachweislich einheitlichen Teilen, also auf derselben Seite des Mittelschattens herzsystolische, mehrseitige, schwache Pulsation zeigen und in der ersten schrägen Durchleuchtungsrichtung nicht zu einem normalen oder wenig verbreiterten Aortenbande (siehe oben) zusammenschrumpfen (Taf. II. Fig. 9). In letzterem Falle gehört die Schattenmasse nicht einem Aneurysma, sondern der allgemein oder spindelig gedehnten Aorta an. Eine Reihe weiterer Anhaltspunkte schützt vor der Verwechslung dieser bei Myodegeneration, Arteriosklerose, Aorteninsuffizienz, Mb. Basedowii, Chlorose etc. häufigen Dehnung und der Verlagerung der Aorta mit dem Aneurysma, von dem sie prognostisch so different ist. Kleine, beginnende Aneurysmen zeigen in der sagittalen Richtung (Fig. 8) oft keine abnormen Bilder, in der ersten schrägen, fast stets typische kappenförmige (A. ascendens) und keulenförmige (Bogen) Verbildungen des „Aortenbandes". Tief sitzende Aneurysmen der Aorta descendens bleiben diagnostisch mitunter unentschieden. Die Lokalisation des Ausgangspunktes der Aneurysmen ist durch die Radiologie wesentlich gefördert worden, und zwar hauptsächlich dadurch, daß man die ganzen Säcke in vollem Umfange übersieht, während die Perkussion oft ganz unmaßgebliche Sackanteile lokalisiert, und daß daher die wirkliche Lage der Säcke im Thorax für ihren Ausgangspunkt häufiger und besser verwertet werden kann.

Vom Mediastinum ausgehende Tumoren erscheinen schon bei geringer Größe leicht erkennbar, je nach ihrer Entstehungsweise in ihren Schattenrändern teils einheitlich, teils zusammengesetzt (Taf. I, Fig. 11), mehr minder konfluierend und zeigen selten fortgeleitete, einseitige, gleichgerichtete Pulsation. Der Ösophagus, normalerweise unsichtbar, wird durch Einführung schwerer Ingesten in seiner Lage sichtbar gemacht, und zwar immer am besten in der ersten schrägen Durchleuchtungsrichtung. Viel bequemer als die Sondierung (Taf. I. Fig. 11), ungemein schonungsvoll und leicht ausführbar ist die Beobachtung der Bewegung sichtbarer Bissen durch den Ösophagus. Sie gibt nicht nur über seinen Verlauf (Dislokationen ohne Schlingbeschwerden sind viel häufiger als man klinisch zu berücksichtigen gewohnt ist und oft die ersten Zeichen mediastinaler Tumorbildungen) Aufschluß, sondern stellt, da die Lokomotion der Boli die einzige Funktion des Ösophagus ist, eine objektive Funktionsprüfung dar, die es bisher nicht gab. Bei den verschiedenen Störungen der Wegsamkeit und motorischen Kraft des Ösophagus passieren die Ingesten in mannigfacher, typischer Art die Speiseröhre (Taf. II, Fig. 13). Als Ingestum wird Bismuthum subnitricum zuerst in Wasser, dann mit Milchzucker und Wasser zu einer zähen Paste angerührt, dann in Gelatinekapseln zu 1 und 3 Gramm verwendet. Bleiben sie stecken, so erzeugt nachgetrunkene Wismuthschüttelmixtur einen sichtbaren Ausguß des darüberliegenden normalen oder dilatierten Ösophagus.

Gewisse Kombinationen der Wismuth- mit der Sondenmethode erlauben, die Diagnose des Ösophagusdivertikels (Taf. II, Fig. 13); doch genügt der Nachweis eines durch Wismuthschüttelmixtur gefüllten Sackes mit gleichmäßig gerundeten Boden ohne trichterförmige Fortsetzung nach unten völlig zur Differenzierung von Dilatationen über Stenosen.

Das Abdomen erscheint unter normalen Verhältnissen wegen der geringen Differenzen in der Dichte und Durchlässigkeit seiner Teile als fast gleichmäßig graue Fläche, in der sich nur die Skeletteile wegen ihres höheren, die gasgeblähten Teile des Verdauungstraktes (Pars cardiaca ventriculi und Colon) wegen ihrer niedrigeren Dichte als dunklere respektive hellere Gebilde abheben. Weitere Differenzierung kann nur durch künstliches Hineintragen von Dichtendifferenzen, Einbringung von Gasen und schweren Körpern erfolgen

Der Magen läßt in aufrechter Körperhaltung Wismuthwasseraufschwemmung (Bismuthi subnitrici 10,0, Aquae 100; Sacch. lactis 5,0, in praxi Spatelspitzenweise dispensiert, frisch gerührt genommen) nach Passage des Ösophagus und der Cardia

an der kleinen Curvatur der meist gasgefüllten pars cardiaca in die meist collabierte pars media und durch diese sofort an seinen tiefsten Punkt fließen („caudaler Pol“; normal zwischen Nabel und processus xiphoideus). Dort breitet sie sich halbmondförmig aus (Taf. II, Fig. 16 d), kann durch knetende Bewegungen der aufgelegten Hand innerhalb der Grenzen des „caudalen Teiles“ des Organes verschoben und durch eine effleurierende Bewegung der über die vorspringende Wirbelsäule abrollenden Hand (Fig. 16 c) in die Pars pylorica (P. p.) gebracht und in vielen Fällen in das Duodenum ausgepreßt werden, welches sie entweder sofort durchfließt um hierauf im linken unteren Bauchquadranten in Flecken oder deutlichen Schlingen mit auf Druck entstehender querer Streifung (Valvulae coniventes) aufzutreten, oder blos das oft erweiterte epipylorische Anfangstück des Duodenum zu füllen (Fig. 16 a), welches dann zwischen sich und der Füllung der P. pylorica ventriculi eine fingerbreite Stelle (Muskelring des Pylorus frei läßt. Gleich nach Eintreffen der Füllung und Formierung des scharf linear bogenförmigen candalen Poles — mangelhafte Formierung desselben weißt auf vorbestandene Magenfüllung hin und verschwindet unter Verrühren — beginnt die Peristaltik (siehe unten, Fig. 16 a, b, d; 18; 19).

Wismuthspeise (Bismuth. subnitr. 30, Sacch. lact. 15—25 in warm gehaltener (Teller mit doppelten Metallboden und Heißwasserfüllung) Milchspeise (Gries in der Milch) gut eingerührt (der Milchzucker soll den Wismuthgeschmack fast völlig decken und hat im übrigen die obstipierende Wirkung des Wismuth zu kompensieren) überschichtet das inzwischen sedimentierte Wismuth der Aufschwemmung und drängt das Wasser derselben aufwärts, bis beide den Magen möglichst (Menge der Speise) vollständig, d. h. bis auf die Gasblase in der Pars cardiaca, die mit der Nahrungsaufnahme durch mitverschluckte Luft an Größe beständig zunimmt, erfüllen.

Nun zeigt es seine schon durch die einfließende Aufschwemmung angedeutete Lage, Form und Größe. Diesbezüglich kommen zwei Typen unter anscheinend normalen Verhältnissen vor, von denen jedoch die zweitzuschildernde die Grundform der Längsdehnung ist. Ein bogenförmig diagonal gestellter (Taf. II, Fig. 14, ausgezogene Linie), in der pars media und pylorica schlauchförmig enger und daher inclusive seiner Krümmung aus der Frontalebene (caudaler Teil an der vorderen Bauchwand, pars cardiaca in mittlerer Tiefe des Abdomens hart unter der linken Zwerchfellhälfte), etwa rinderhornartig gekrümmter Magen, dessen Pylorus — Hauptcharakteristicum — den tiefsten Punkt einnimmt.

2. Ein bezüglich der Achse der Pars cardiaca und media vertical gestellter und mit der pars pylorica sich hackenförmig nach oben krümmender Magen, dessen Pylorus also um die „Hubhöhe" höher als der von der großen Curvatur beigestellte tiefste Punkt gelegen ist, was ihn am besten charakterisiert.

Der so erreichte Ausguß läßt erkennen: 1. Vollständigkeit, 2. Scharfe Ränder, 3. Gleichmäßige Dichte, 4. Peristaltik, die in mehr minder tiefen und mehr minder breiten Wellen von der pars media beginnend an der großen Curvatur entlang läuft, bis die Welle sich mehr und mehr vertiefend (Fig. 16a), ein Stück vor dem Pylorus halt macht, gemeinsam mit einer eben entstandenen Einziehung an der kleinen Curvatur den Magen quer vollständig abschnürt (Spinkter antri) und nun in dem restlichen präpylorischen Anteil (Antrum) neuerdings in Form konzentrischer Kontraktion (Fig. 16b) einsetzt. Sie schreitet bis zum vollständigen Verschwinden des Antruminhaltes fort. Dieser wird entweder in das Duodenum oder (anfangs) rückläufig in den übrigen Magen getrieben. Dann öffnet sich der Sphincter und das Antrum dem nachdrängenden Mageninhalt wieder. Alle 25—30′ eine Magenrevolution.

5. Palpatorische Inhaltsverschieblichkeit heißt das bei normaler, weicher Magenwand konstatierbare Ausweichen des sichtbaren dunklen Inhaltes auf entsprechenden Druck von außen her, wobei die mit einem oder mehreren Fingerkuppen gedrückte Stelle des Randes oder des Bildinnern sich in entsprechendem Ausmasse aufhellt.

Grobanatomische Wandveränderungen des Magens können sich je nach Lage und Größe dokumentieren 1. durch unvollständige Füllung trotz aller sonst zur Ausfüllung sämtlicher Teile führenden Mittel (genügende Speisenmenge, Massage, Efflenrage in die Pars pylorica). Der Füllungsdefekt gibt dann Aufschluß über den betroffenen Magenteil, den Sitz der Intumescenz innerhalb dieses Teiles seine Größe und Gestalt (Taf. III, Fig. 19a—d. Fig. 18); 2. durch abnorme Contourenführung (zackige statt scharfe Ränder); 3. durch ungleichmäßige Dichte des Ausgusses, spontan, oder auf flachem Drucke (Fig. 19c); 4. durch Aufhören respektive streckenweises Fehlen der Peristaltik und durch pathologische Antrumperistaltik (Fig. 18); 5. Antiperistaltik, bisher nur bei Pylorusstenose beobachtet, ist ein keineswegs seltenes Vorkommnis 16a; 6. durch mangelhafte oder fehlende palpatorische Inhaltsverschieblichkeit. —

Ein palpabler Tumor, gleichzeitig mit der Durchleuchtung des gefüllten Magens palpiert, läßt entweder ohne weiters seine Extraventricularität erkennen (Fig. 7 T, T), oder es fällt mit dem

Magenbilde zusammen und gehört dem Magen dann nicht an, wenn er sich manuell von ihm trennen läßt; oder seine Lage entspricht den anderen, am Magen wahrgenommenen grobonatomischen Veränderungen.

An die vordere Bauchwand fixierte Gebilde machen die Hebung der Organe beim Baucheinziehen (Taf. III, Fig. 17, B E) nicht mit, auch er hebt sich nur, wenn er nicht selbst fixiert ist. Punkte von Druckempfindlichkeit, Peristaltik etc. werden wie Tumoren als intra oder extra ventricular erkannt.

Verziehung, Verdrängung, Deformation von außen (Taf. III, Fig. 20 a—c), Längs- und Querdehnung (Fig. 15) machen keine dragnostischen Schwierigkeiten. Bei Verlagerung muß Verdrängung angenommen werden, wenn ein verdrängender Tumor paipabel oder ein gasgeblähtes Gebiet sichtbar ist, Verziehung, wenn das nicht der Fall ist.

Die Gastroenterostomie läßt, wenn sie suffizient ist, die Ingesten, kaum in den Magen gelangt, in den Dünndarm ausfließen (Querstreifung des Inhaltes auf Druck, angesammelt in schmalen Bändern im linken unteren Bauchquadranten), andere Comunicationen münden in entsprechend geformte Darmabschnitte.

Von anderen Körperstellungen als der aufrechten, bei der die genannten Befunde erhoben werden, kommt nur die halbrechts Seitenlage nach voller Seitenlage in Betracht und zwar zwecks Füllung des Pars pylorica, wenn selbst große Speisemengen bei hochgradig gedehnten und gesunkenem Magen nicht ausreichen. Die Gasblähung wird nur zur Dehnbarkeitsprüfung der pars cardiaca verwendet.

Viel weniger ergiebig ist die den gleichen Methoden zugängliche Untersuchung des Darmes. Die wismuthhaltigen Ingesten passieren in ca. 2 Stunden den Dünndarm, ohne sich in demselben irgendwo zu sammeln, dem Unterbauch ein marmorartiges Schirmbild verleihend. Dann bedürfen sie ca. 2 × 24 Stunden um das Colon zu durchwandern und stellen dieses in mehrminderdicken, durch die Haustreu charakterisierten Bändern dar. (Das letztere Bild entsteht in mehrminder großer Ausdehnung auch bei Füllung vom Rektum aus (bei 100 gr Bismuthum subnitricum in warmem Wasser).

Stenosen eines Darmabschnittes, bisher die einzige Indikation, lassen eine Ansammlung der Ingesten — im Dünndarm an sich pathologisch — durch abnorm lange Zeit wahrnehmen.

Nieren-, Ureter- und Blasenconcremente werden radiographisch gesucht. Kompressionsblendenaufnahmen in einem Gebiet, welches durch die Mitte Wirbelsäule, die drei letzten Rippen und die Darmbeinschaufel, für die letztern auch noch die rechte

und linke Hälfte des kleinen Beckens, respektive die Regio-suprapubica umfaßt. Also vier Aufnahmen für beide Nieren, sechs für Nieren und Ureteren, eine für die Blase. Rückenlage, mittelweiche Röhre, mäßig starke Kompression, am Thorax keine Kompression (Fascikelblende). Darmentleerung überflüssig. Brauchbare Aufnahmen müssen die Querfortsätze und die laterale Contour des Caput iliacum musculi ileopsoas (Taf. III, Fig. 21 c. i. p.) enthalten, vollendete zeigen auch den unteren Nierenpol (Taf. III, Fig. 21, P.). Die Concrementschatten sind im Negativ hell (Gasblasen dunkel), von zweifelloser Fremdkörperdeutlichkeit, Hanfkorn- bis Nierengroß, singulär oder multipel, rund oder dreieckig, korallenartig oder pfeifenartig (Uretereingang; Fig. 21, U E), im Ureter nicht über bohnengroß, wenn oval vertikal gestellt, wenn mehrfach, perlenschnurartig gereiht, in der Blase rund, häufig multipel und sehr groß, bisweilen deutlich geschichtet. — Die Nierensteinschatten sind meist etwas unscharf begrenzt, besonders oben und unten (respiratorische Verschiebung), sie liegen innerhalb des aus dem unteren Nierenpol ergänzten Nierenbild und erscheinen bei tiefer gestellter Röhre (untere Aufnahme) in Bezug auf die Querfortsätze und Rippen höher gelagert, als bei höher eingestellter (Differenzialdiagnose gegen extrarenale Concremente). Die Uretersonde (Fig. 22) zeigt Verlagerungen des Ureters (Abweichung von der Lyraform) Ptose und Distopie der Niere.

G a l l e n s t e i n e sind fast nie nachweisbar.

2. Kapitel.

Das Röntgenverfahren in der Chirurgie.

Von Prof. Dr. A. Hoffa, Geh. Med. Rat, Berlin
und Dr. Blencke, Magdeburg.

Allgemeiner Teil.

Von allen Gebieten der Medizin hat unzweifelhaft die Chirurgie den größten Vorteil von der Erfindung Röntgen's davongetragen. Die folgenden Seiten mögen den Ärzten, die in ihrer praktischen Tätigkeit den Nutzen des Röntgenverfahrens für die Chirurgie nicht so verfolgen können, als es wünschenswert ist, eine Übersicht geben über das, was die Röntgenstrahlen im Dienste der Chirurgie zu leisten imstande sind. Wir haben zunächst alles Wichtige in einem allgemeinen Teil zusammengestellt auf Grund unserer eigenen Erfahrungen, die wir von den ersten Anfängen der Röntgenaera am Platze der Entdeckung selbst machen durften.

Das Hauptgebiet für die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Chirurgie bilden die Verletzungen der Knochen und Gelenke, bei denen dies Verfahren sicherlich die größten Triumphe gefeiert und die schönsten Erfolge gezeitigt hat.

Wir können heute sehen, wie oft wir früher im Dunkeln tappten und wie oft wir irrten selbst in Fällen, die absolut klar zu sein schienen. Ohne dem Patienten auch nur die geringsten Beschwerden zu verursachen, ohne durch etwa nötig werdende Manipulationen und Bewegungen noch Nebenverletzungen zu schaffen, erhalten wir durch die Röntgenstrahlen genauen Aufschluß über die Art und Weise der bestehenden Verletzung.

Starke Schwellung, starke Blutergüsse, heftige Schmerzen selbst bei den geringsten Bewegungen des verletzten Gliedes, häufig auch Indolenz von Seiten der Verletzten, — alles das waren früher Hindernisse, die uns bei der Diagnosenstellung in den Weg treten und dieselbe erschwerten, ja manchmal auch ganz unmöglich machten. Die Röntgenphotographie beseitigte alle diese Hindernisse spielend.

Selbst die kleinsten Brüche und Fissuren, selbst die Absprengung von minimalen Knochenstückchen, die zu erkennen früher einfach zu den Unmöglichkeiten gehörte, können uns jetzt nicht mehr verborgen bleiben. Die Röntgenstrahlen ziehen sie ans Licht und führen sie uns klar vor Augen. Die Diagnose Kontusion und Verstauchung ist seit der Anwendung der Röntgenstrahlen immer seltener geworden. Wieviel Brüche früher unter dieser falschen Flagge segelten, das haben wir jetzt erst so recht kennen gelernt. Frakturen an Knochen, die früher infolge deren anatomischen Lage oder sonstigen Beschaffenheit selbst von dem geübtesten tastenden Finger nicht konstatiert werden konnten, sind leicht zu erkennen. Wir erinnern hier nur an die Frakturen der kleinen Handwurzel- und der Fußknochen. Auch Frakturen des Schädels und der Wirbelsäule durch das Röntgenbild darzustellen, gelingt uns heute Dank der verbesserten Technik fast ausnahmslos.

Ferner müssen wir hier der Schußfrakturen gedenken, die oft eine Menge Knochensplitter und -splitterchen aufweisen. Keiner von diesen kann uns jetzt mehr entgehen; wir können sie im Notfalle alle entfernen und so das Zurückbleiben selbst des Winzigsten verhindern, das trotz seiner Kleinheit oft genug fähig sein kann, die Heilungsdauer wesentlich hinauszuschieben. Wie sehr uns in dieser Beziehung die Röntgendurchleuchtung gerade auf dem Kriegsschauplatze förderlich sein kann, darüber haben unsere Kollegen, die im südafrikanischen Kriege tätig sein durften, genugsam berichtet. In nicht weniger als neun Feldzügen haben sie sich nunmehr bereits bewährt. Küttner, dem nach dieser Richtung hin wohl mit die reichste Erfahrung zu Gebote steht, ist der Ansicht, daß diese Strahlen zu einem unentbehrlichen kriegschirurgischen Hilfsmittel geworden sind, dessen Wert namentlich der Arzt vor allen Dingen zu schätzen weiß, welcher ohne und mit Röntgenstrahlen kriegschirurgisch tätig gewesen ist. Er muß bekennen, daß er während der ersten Periode des Burenkrieges, als er gezwungen war, ohne Röntgenstrahlen zu arbeiten, das Eintreffen des Apparates wahrhaft herbeigesehnt hat, da ihm ein gewisses Gefühl der Sicherheit fehlte. Damals hat er zuerst in vollem Maße empfunden, wie sehr unser chirurgisches Denken und Handeln von diesem wertvollen Hilfsmittel der Röntgendurchleuchtung abhängig geworden ist.

Erkennen können wir ferner die Interposition von Weichteilen, die so oft den Grund für eine verzögerte Callusbildung oder für Pseudarthrosen abgeben. Zwischenräume zwischen den im Sinne einer Dislocatio a longitudinen verschobenen Knochenflächen, die bei verschiedenen Stellungen des Gliedes immer die-

selben bleiben, deuten gewöhnlich auf derartige Interpositionen hin und bestimmen uns, diese zunächst zu beseitigen.

Bei Lähmungen, wie wir sie öfter im Gefolge von Frakturen beobachten können, in den Fällen, wo der betreffende Nerv dem verletzten Knochen dicht anlag, kann uns mitunter das Röntgenbild auch Aufschluß geben über die Aetiologie, über die Ursache der Lähmung, indem es uns erhebliche Calluswucherungen, knöcherne Kanäle, Knochenspitzen, scharfe Knochenkanten zeigt, welche durch Druck auf den Nerv die Lähmung herbeiführen. Wir entfernten in einem Falle die auf dem Röntgenbilde sichtbare, an der Bruchstelle eines Oberarm vorspringende Knochenkante, durch die der Nervus radialis abgeknickt wurde, und erzielten vollkommene Heilung der schon lange Zeit bestehenden Lähmung.

Der praktische Arzt soll es sich zur Regel machen, in jedem nur einigermaßen unsicheren Verletzungsfall eine Röntgendurchleuchtung vornehmen zu lassen. Dann werden die für den Patienten oft so verhängnisvollen Fehldiagnosen immer seltener werden und dann wird sich der Arzt manchen Ärger ersparen. Ich erinnere hier nur an die sogenannten Kontusionen des Hüftgelenks, unter denen sich in der Regel Schenkelhalsbrüche verstecken. Aber auch an anderen Körperteilen treffen wir nicht selten Frakturen, wo man solche nicht vermutet hatte. Schlenka hat uns an einer ganzen Reihe von Fällen aus der Helferich'schen Klinik gezeigt, daß Frakturen vorhanden waren und sich auf der Platte erkennen ließen, wo man sie sicher ausschließen zu können glaubte.

Daß mit der genauen Erkennung der Frakturen die Therapie in manchen Fällen eine andere geworden ist, daß so mancherlei, was theoretisch erdacht, vortrefflich zu sein schien, sich jetzt als praktisch unrichtig und unzweckmäßig erwies und deshalb über Bord geworfen wurde, das ist wohl zur Genüge bekannt und klar.

Wenn wir heute die Fraktur auf der Röntgenplatte sehen, so ergibt sich auch in den meisten Fällen sogleich die zweckmäßige Therapie von selbst. Wir wissen sofort, nach welcher Seite die leicht zu erkennende Dislokation ausgeglichen werden muß, welche Handgriffe anzuwenden sind, um diese zu beseitigen, und wie am zweckmäßigsten der Verband anzulegen ist, dessen Hauptaufgabe es doch ist, die beseitigte Dislokation nun auch in der richtigen Lage festzuhalten. Aber nicht genug damit; wir können den Heilungsverlauf auch weiter verfolgen, wir können kontrollieren und uns zu jeder Zeit und jeder Stunde überzeugen, ob wir mit den ergriffenen Maßnahmen auch wirklich das erreichen, was wir erreichen wollten. Denn seit uns die verbesserte Technik auch die Möglichkeit gegeben hat, selbst durch einen starken Gipsver-

band hindurch zu schauen, sind wir imstande, ohne auch nur im geringsten dem Patienten Schmerzen zu bereiten, ohne auch nur im geringsten den etwaigen guten Heilerfolg zu stören, nachzuforschen und zu prüfen, ob noch alles in bester Ordnung ist. Wir sehen, wie an Stelle der früheren Bruchlinie mehr und mehr eine feste Verbindungsmasse eintritt, welche das Licht weniger gut durchläßt, und wie bei vorhandenen Dislokationen, die sich ja in gewissen Fällen nicht immer ganz beseitigen lassen, sich je nach der Größe derselben starke Callusmassen bilden. Wir können heute nicht mehr, wie das wohl früher auch manchmal dem besten Chirurgen passiert ist, auch wenn der Verband noch so gut angelegt zu sein schien, auch wenn man noch so fest überzeugt war von der glatten und tadellosen Heilung, bei Abnahme des Verbandes durch eine deform geheilte Fraktur überrascht werden. Starke Callusbildung oder andere Umstände konnten uns früher täuschen und ließen uns oft eine gute Stellung der Bruchenden zu einander annehmen, wo in Wirklichkeit eine solche nicht vorhanden war. Und dann war es gewöhnlich zu spät, dann war an eine Korrektion nicht mehr zu denken, wenn anders der Knochen nicht von Neuem gebrochen werden sollte.

Wie schön und leicht läßt sich dies alles heute unter der Kontrolle der Röntgenstrahlen vermeiden. Finden wir bei der Durchleuchtung, daß die Bruchenden nicht gut aneinanderpassen und liegen —, nun, dann können wir jederzeit korrigierend eingreifen.

Andererseits sind wir aber auch durch die Röntgenstrahlen zu der Erkenntnis gekommen, daß von idealen Heilungen bei Knochenbrüchen, wie wir sie früher immer annehmen zu können glaubten, nicht oft die Rede sein kann. Nur in den allerseltensten Fällen finden wir eine tadellose Adaptierung der Bruchenden. Wir haben uns unzählige Male davon überzeugen können, daß in Fällen, in denen die tadellose Funktion des verletzten Gliedes und jegliches Fehlen irgendwelcher nachweisbaren Anomalie auf eine ideale anatomische Heilung sicher schließen ließen, eine solche dennoch nicht vorhanden war.

Als Regel für die Röntgenaufnahmen bei Verletzungen möchten wir es hinstellen, Aufnahmen von zwei Seiten her zu machen. Brüche, die von der einen Seite aufgenommen fast keine Deformität erkennen lassen, können eine erhebliche Deformität zeigen, wenn sie von der andern Seite aufgenommen werden, ja es gibt Brüche — wir erinnern nur an die Schrägbrüche der Fibula von hinten nach vorn —, die von der einen Seite allein überhaupt nicht zu erkennen sind, die vielmehr erst augenfällig werden, wenn man sie von der anderen Seite her photographiert.

Die richtige Deutung der Röntgenbilder ist keineswegs eine leichte Aufgabe. Gar oft stößt der Anfänger auf Schwierigkeiten, und es erheischt schon eine gewisse Erfahrung, wenn man nicht groben Täuschungen ausgesetzt sein will. — Bei jugendlichen Individuen, bei denen das Wachstum noch nicht abgeschlossen ist, liegen die Dinge wesentlich anders als bei Erwachsenen. Es ist deshalb dem Anfänger dringend anzuraten, die Veränderungen des Skeletts während des Wachstums zu studieren. Die Knochenkeime der Epiphysen haben bei jugendlichen Personen häufig genug schon Veranlassung zur Verwechselung mit Frakturen gegeben, ebenso die Schaltknochen und die Sesambeine. Gar oft ist das Os trigonum tarsi schon mit einem abgesprengten Knochenstück verwechselt worden, oder man hat für ein solches wohl auch das Sesambein gehalten, das Wildt in vier Fällen von 147 photographischen Aufnahmen von Kniegelenken auf der Rückseite dieses finden konnte. Auch an der Beugeseite des Daumenendgelenkes ist des Öftern ein kleines Sesambein zu beobachten, von dessen Existenz man Kenntnis haben muß, wenn anders man nicht Fehldiagnosen stellen will.

Einen großen Wert besitzt das Röntgenverfahren in der „Unfallpraxis". Schmerzen, für die wir früher keinen Grund mehr finden konnten, lassen sich jetzt oft mit Hülfe der Strahlen erklären, und schon manchem, der für einen Simulanten gehalten wurde, hat dies Verfahren zu seinem Rechte verholfen. Auf der andern Seite haben aber auch die Röntgenstrahlen schon manchen Simulanten entlarven helfen. Wir selbst haben Fälle erlebt, bei denen eine Fraktur bestehen sollte, auf die alle angeblichen Beschwerden zurückgeführt wurden und bei denen die Aufnahme dann eine solche nicht erkennen ließ. Damit soll nun nicht etwa gesagt sein, daß wir jetzt im Stande sind, jeden Simulanten mit Hilfe der Röntgenstrahlen zu erkennen. Weit gefehlt! Es gibt noch Fälle genug, in denen Quetschungen, Bänderzerreißungen u. dergl. m. ohne Mitbeteiligung und ohne Mitverletzung der Knochen beobachtet werden, die nicht auf der Platte sichtbar sind und doch den Träger erhebliche Beschwerden machen können.

Auch bei der Abfassung der Gutachten über Unfallpatienten leisteten uns die Skiagramme oft sehr gute Dienste. Um den in Frage kommenden Personen, die doch meist Laien sind, die Fälle klar zu machen und die Deformität vor Augen zu führen, waren oft lange Beschreibungen und Erörterungen nötig, die natürlich viel Zeit und Mühe kosteten und schließlich doch noch mißverstanden werden konnten. Heute haben wir es leichter; man legt dem Gutachten ein Röntgenbild bei und ein kurzer Hinweis auf

dieses mit Bezeichnung der fraglichen Stelle genügt, um selbst die komplizierteste Deformität dem Leser zu veranschaulichen. Irrtümer und Mißverständnisse sind so gut wie ganz ausgeschlossen. Es gibt kein Verfahren, das an Genauigkeit, Einfachheit und Sicherheit diesem gleichzusetzen wäre, um andere Nichtbeobachter des in Frage kommenden Falles über die Art einer Verletzung und über die durch dieselbe bedingten Funktionsstörungen aufzuklären. Wir wollen noch einmal hervorheben, daß gelegentlich trotz starker restierender Deformität verhältnismäßig gute Funktionsverhältnisse bestehen können. Man soll daher nie nach dem Röntgenbilde allein urteilen, sondern auch nach der Funktion des betreffenden Gliedes. Denn würden wir nur das erstere tun, so würden oft höhere Renten bewilligt werden müssen, als wirklich angebracht ist.

Ganz verkehrt ist es, dem Verletzten einen Abzug der Platte in die Hand zu geben. Sieht der Laie, daß eine Dislokation der Fragmente besteht, so stellt er sicher höhere Ansprüche an die Versicherungsgesellschaft, als er es wohl sonst getan haben würde. Diese Erfahrung haben wir nur zu oft machen müssen.

Alles, was wir bisher über die Frakturen gesagt haben, gilt auch im gleichen Sinne für die Verrenkungen der Knochen. Auch diese können uns heute in Bezug auf die Diagnose keine Schwierigkeiten mehr bereiten, selbst wenn es sich nur um sogenannte Subluxationen handelt. Es sind früher Fälle genug vorgekommen, wo, diese als solche zu erkennen, einfach unmöglich war. Wie schwerwiegend es für die Therapie ist, wenn es sich um Luxationen handelt, die auch noch mit Frakturen kombiniert sind, das bedarf wohl keines Wortes der Erwähnung.

In vielen Fällen gelingt es auch, mit Hilfe des Röntgenbildes festzustellen, warum manche Luxationen so schwer zu reponieren sind, und warum manche Luxationen so häufig wiederkehren, d. h. habituell werden.

Nächst den Frakturen und Luxationen kommen für die Untersuchung mit Röntgenstrahlen am häufigsten die Fremdkörper in Betracht. Wir erkennen ihre Lage, ihren Sitz, ihre Größe.

Am deutlichsten markieren sich metallische Fremdkörper, mögen sie noch so klein und winzig sein. Forster konnte im Knie einer Patientin ein Nadelfragment von 0.02 g röntgographisch darstellen, ein Befund, der ihn dazu veranlaßte, genaue methodische Untersuchungen auszuführen über die kleinsten noch nachweisbaren Maßen metallischer Fremdkörper. Er kam zu dem Resultat, daß ein eiserner Fremdkörper von nur einem Milligramm Gewicht mit voller Sicherheit bei einer Expositionszeit von nicht mehr als

Sekunden in einer menschlichen Hand nachgewiesen werden kann, mag derselbe ober- oder unterhalb der Knochen liegen.

Wir können jedoch nicht nur Kugeln und andere Geschosse, Nadeln, Metallsplitter, Nägel u. a. m. nachweisen, sondern wir sind auch imstande, Glassplitter und Porzellanstückchen auf guten Aufnahmen deutlich zu erkennen.

Schwieriger als das Erkennen der Fremdkörper und die Bestimmung ihrer Größe ist ihre Lokalisation; dieselbe gehört oft mit zu den schwierigsten Aufgaben. Irrtümer sind uns hierbei auch trotz größter Sorgfalt nicht erspart geblieben. Neuerdings sind außerordentlich sinnreiche Apparate zur Lagebestimmung der im Körper befindlichen Fremdkörper konstruiert worden. Wir wollen auf diese hier nur hinweisen, ebenso auf das von Hildebrand in die Praxis eingeführte stereoskopische Verfahren. In andern Abschnitten dieses Buches wird davon mehr die Rede sein. Hier wollen wir nur hervorheben, daß wir in der Regel auch mit einfacheren Methoden zum Ziele zu kommen vermögen, und auf diese möchten wir, da sie ja doch hauptsächlich für den Praktiker in Betracht kommen, etwas näher eingehen. Wenn wir auch die Tiefenbeurteilung durch die Abmessung der Helligkeit des Schattens bestimmen können, da ja bekanntlich der Gegenstand desto dunkler und schärfer erscheint, je näher er der photographischen Platte liegt, und desto heller und verschwommener, je weiter, so brauchen wir wohl heute doch nicht mehr so zu verfahren, wie es Petersen zu Beginn der Röntgenära empfahl. Er nahm ein Stück Fleisch von dem Durchmesser des betreffenden Gliedes, in welches er Bleistücke von der ungefähren Größe der gesuchten Kugel oder dergleichen in verschiedenen Höhenabständen versenkte, und machte nun durch die Vergleichung der Helligkeit der Schattenbilder dieser Bleistücke und des Schattenbildes der gesuchten Kugel eine genaue Tiefenbestimmung. Dieses Verfahren erschien damals Petersen einfacher, als zwei Aufnahmen zu machen. Heute machen wir viel einfacher zwei oder mehrere Aufnahmen des betreffenden Körperteiles von verschiedenen Seiten aus und können dann durch die Kombination dieser Bilder sichere Schlüsse ziehen.

Wir können uns aber auch bei der Lokalisation der Fremdkörper der Schirmuntersuchung bedienen, indem wir die Exkursionsgröße des Fremdkörpers zur Exkursionsgröße der benachbarten Knochenteile bei Bewegungen des in Frage kommenden Körperteiles zu bestimmen suchen, da ja bekanntlich nach den physikalischen Gesetzen der vom Durchleuchtungsschirm ferner gelegene Körper größere Exkursionen ausführen muß als der, der dem Schirm näher liegt.

Auch unter der Führung von Schirmuntersuchungen kann man die Fremdkörper aufsuchen und sie sofort entfernen. Eigens zu diesem Zweck konstruierte Operationstische sind von verschiedenen Autoren angegeben worden, auf deren Beschreibung wir uns hier nicht näher einlassen wollen und können, da sie ja doch wohl von dem Praktiker, für den dieses Buch bestimmt ist, nicht allzu oft in Anwendung gebracht werden.

Ebenso wie in der Nase, in den Augen, in der Tonsille können wir Fremdkörper auch in den großen Körperhöhlen nachweisen. So sind Gebisse im Ösophagus gefunden und bildlich dargestellt, Hemdenknöpfe in den Bronchien, verschluckte Münzen im Darmkanal und dergl. mehr.

Auch das zu Heilzwecken in Verbindung mit Glyzerin oder Öl eingeführte Jodoform können wir sichtbar machen. Wir können genau die Dauer der Resorption desselben feststellen und davon die Notwendigkeit neuer Injektionen abhängig machen. Wir konnten mit Hülfe der Röntgenstrahlen das allmähliche Verschwinden von Jodoformknochenplomben nachweisen, wir konnten ferner nachweisen, daß das Jodoform bis zum eigentlichen Knochenherd vordringt und selbst lange Bahnen durchläuft. Die ober- und unterhalb des Poupart'schen Bandes in einen Senkungsabszeß eingespritzte Masse drang bis zu dem selbst in den oberen Partien der Wirbelsäule gelegenen Krankheitsherd vor und zeigte als dünner, gewundener Strang auf der Röntgenplatte den Verlauf des Kanals und den primären Herd. Aus diesem Grunde kam Kümmel auf den Gedanken, das Jodoformglyzerin zu diagnostischen Zwecken in Fistelgänge zu injizieren: bei einer Einspritzung in einen solchen von erheblicher Länge, den genannter Autor als von einer Synchondroseneiterung herrührend angesehen hatte, führte die schattengebende Lösung bis zur Niere. Diese wurde so als krankmachende Ursache erkannt und mit nachfolgender Heilung entfernt.

Wenn es nun auch, wie aus allem dem bisher Gesagten wohl zur Genüge ersichtlich ist, über jeden Zweifel erhaben ist, daß das Hauptgebiet der Verwertung der Röntgenstrahlen für die Chirurgie in der genauen Feststellung von Knochenbrüchen und Luxationen und in der Auffindung und Lokalisation von Fremdkörpern gelegen ist, so haben wir trotzdem auch noch erhebliche Fortschritte nach einer anderen Seite hin gemacht, wir meinen Fortschritte in der Erkenntnis der Knochenerkrankungen.

Wir können heute die Tuberkulose, die Osteomyelitis, die Lues in ihrer ganzen Ausdehnung und oft in ihren ersten Anfängen erkennen. Knochenabszesse, Knochenzysten, Knochengeschwülste entgehen selbst im Anfangsstadium unseren Augen

nicht mehr. Wie manchem Patienten können wir dadurch das Glied retten und wie manchem sogar das Leben!

Man ist in der Lage, alle diese aufgeführten Erkrankungen nicht nur aufs genaueste zu lokalisieren und sich bezüglich ihrer Ausdehnung genau zu orientieren, sondern auch ihren Verlauf in allen Stadien zu verfolgen und danach das Eingreifen, den Gang der Operation genau zu bestimmen. Eine kurze Durchleuchtung verschafft uns Klarheit und macht viele schmerzhafte Probeinzisionen und dergl. m. unnötig.

Köhler hat uns in umfangreicher und vortrefflicher Weise die einzelnen Knochenerkrankungen in schönen, scharfen und klaren Abbildungen vor Augen geführt und an der Hand dieser näher beschrieben.

Befassen wir uns zunächst mit den Knochengeschwülsten. Wenn es auch oft genug möglich ist, an nicht allzu umfangreichen, fleischigen Körperstellen derartige Geschwülste zu diagnostizieren, so sind es doch erst wieder die Röntgenstrahlen gewesen, die uns genaue und sichere Auskunft gaben nicht nur über die Gestalt und Größe, sondern auch über die Struktur der Geschwulst.

Am häufigsten sind nach Köhler von allen Knochengeschwülsten die Periostosen; sie bilden ganz dünne Auflagerungen, die auch infolgedessen keine Struktur erkennen lassen.

Die nächsthäufigsten sind die Exostosen, die entweder aus kompakter, fester oder spongiöser Knochensubstanz bestehen und je nachdem exostosis eburnea oder spongiosa genannt werden. Bei letzterer sind die Mark- und Knochenräume gleichmäßig verteilt. Diese beiden Arten können natürlich auch ineinander übergehen. Sehr auffallend ist bei ihnen allen der große Kalkgehalt, den die Röntgogramme deutlich erkennen lassen.

Auch die Chondrome können wir auf den Röntgenplatten sehen, sie heben sich, wenn sie auch meist nur einen schwachen Schatten im Bilde zeigen, sehr gut ab, selbst wenn sie auch noch so klein sind.

Der das Enchondrom umgebende Knochen ist meist von normaler Dichtigkeit, während die eigentliche Knorpelmasse durchlässig ist. Wird die Geschwulst erst größer, so zeigt sich auch bald der ihnen eigentümliche lappige Bau, den wir zum Unterschied bei den Sarkomen nicht finden, die sich mehr gleichmäßig an der Peripherie auszudehnen pflegen. Wir können diese Sarkome schon in den ersten Anfängen erkennen und können sie als zentrale Riesenzellensarkome mit dicker Knochenschale und als zystische unterscheiden. Die letzteren lassen sich nach von Bergmann's Erfahrungen durch Röntgenstrahlen dadurch diagnostizieren, daß sie

stets am Ende der Diaphyse zu sitzen pflegen und nicht auf die Epiphyse übergreifen.

Auch bei metastatischen Prozessen können uns die Strahlen von eminenter Wichtigkeit sein; so gelang es z. B. Gocht, wohl als dem ersten, bei einer Dame mit Mammakarzinom eine Metastase an den ersten drei Brustwirbeln nachzuweisen, die durch spinale Symptome vermutet wurde. Wir verfügen auch über mehrere derartige Fälle.

Auch die Myositis ossificans möchte ich noch an dieser Stelle erwähnen, von der wir auch sehr gute Bilder bekommen, die uns genau über den Sitz und die Ausdehnung dieses Leidens Aufschluß geben.

Gehen wir nun zu den eigentlichen Knochen- und Gelenkerkrankungen über und besprechen wir zunächst die, die am häufigsten in die Hände der Ärzte kommen, wir meinen die Tuberkulose der Knochen und Gelenke. Diese läßt sich natürlich auch ohne Röntgenstrahlen nachweisen durch Symptome, auf die wir hier einzugehen wohl nicht nötig haben. Daß uns aber trotzdem in den allermeisten Fällen die Strahlen gute Dienste leisten, ja geradezu unentbehrlich sind, und daß wir sie trotzdem vielfach anwenden müssen, selbst wenn die Diagnose feststeht und sicher ist, ist klar und selbstverständlich. Zeigen sie uns doch erst die genaue Ausdehnung des Krankheitsprozesses; wir sehen, ob die Knochen oder nur die Weichteile befallen sind, wir sehen die Ausdehnung einer etwa bestehenden Caries und erfahren somit auch zugleich den Ort und die Stelle, wo wir eventuell einzugreifen haben. Selbst die kleinsten Knochenherde entgehen heutzutage unsern Augen nicht mehr.

Köhler unterscheidet in Bezug auf die Röntgenbilder bei der Tuberkulose drei Typen, deren Hauptmerkmale folgende sind:

Beim ersten Typus zeigen die Bilder nur eine diffuse Knochenatrophie höchsten Grades, über die wir noch später einiges zu sagen haben werden; beim zweiten besteht eine diffuse Atrophie verschiedenen Grades; an einzelnen Knochenpartieen zeigt sich unregelmäßige Fleckung und Tüpfelung. Beim dritten Typus fehlt jede Atrophie. Wir finden an einer Stelle des Knochenschattens zirkumskripte, lichtdurchlässigere Partien mit unregelmäßig zackigen und buchtigen Rändern.

Daß diese drei Typen nicht immer scharf gesondert und getrennt vorkommen, sondern daß es auch unter ihnen Übergangsformen gibt, ist ja selbstverständlich.

Die erwähnte hochgradige Atrophie, die nach Köhler nicht taew lediglich von der langen Schonung der schwer erkrankten

Extremitäten herrührt, sondern infolge des hochgradigen Kalkmangels zu erklären ist, und die sich besonders an den Gelenkenden zeigt, ist ein wichtiges Symptom für Tuberkulose und besonders ein brauchbares differentialdiagnostisches Merkmal in den frühesten Stadien dieser Gelenkerkrankungen, bei denen dann später die Gelenklinien weniger scharf ausgeprägt, die Konturen verschwommen und oft nur schwach erkennbar sind; die betr. Knochen sind durchlässiger. Wir sehen wolkenartige Trübungen, zottenartige Fortsätze an den Gelenkenden u. dergl. mehr.

Bei den Fällen, in denen starke Atrophie zu konstatieren ist, handelt es sich immer um eine erhebliche Mitbeteiligung von Seiten der Weichteile, und bei diesen Fällen ist auch das primäre Leiden in der Synovialis oder in den sie bedeckenden Weichteilen zu suchen.

Daß es natürlich auch Fälle gibt, wo die Atrophie bei tuberkulösen Gelenkerkrankungsn an den benachbarten Knochen fehlt, konnten wir auch konstatieren; diese Fälle sind aber äußerst selten.

Wir haben also in den Röntgenstrahlen auch hier wieder ein unfehlbares Mittel, die Erkrankung in ihren Anfangsstadien zu erkennen und somit auch die richtige Therapie anzuwenden, namentlich nachdem uns Robinsohn und Werndorff mit einer neuen röntgenologischen Methode, der Sauerstoff-Insufflation, zur Untersuchung der Gelenke und Weichteile bekannt gemacht haben, die wir sehr häufig anzuwenden pflegen, und die wir nur aufs angelegentlichste empfehlen können. Diese Methode beruht auf dem Prinzip der Interposition eines spezifisch leichteren Mediums, des Sauerstoffes, zwischen zwei spezifisch gleich schwere, sich daher röntgenologisch nicht differenzierende Gewebsarten und setzt uns in den Stand, pathologische Vorgänge an den Gelenken, die wir bisher röntgenologisch meist nur dann nachweisen konnten, wenn sie zu sekundären Veränderungen an den knöchernen Gelenkkonstituentien geführt hatten, nunmehr direkt an primären Veränderungen der Gelenkweichteile zu studieren.

Nachdem Wollenberg gemeinsam mit dem bekannten Drägerwerk in Lübeck einen Sauerstoff-Einblasungsapparat konstruiert hat, durch welchen die übrigens absolut unschädliche Sauerstoffinjektion auch zu einem technisch überaus einfachen, schnell zu erledigenden Verfahren geworden ist, findet die Methode in unserer Klinik eine ausgedehnte Anwendung. Wir kommen im speziellen Teil noch einmal auf diese Methode zurück.

Wieviel Gelenktuberkulosen, namentlich an der Hand und am Fuß, sind wohl in ihrem Entstehen schon für Verstauchungen gehalten und dementsprechend behandelt worden, zumal da ja die Patienten sogleich immer mit einem Trauma bei der Hand zu sein pflegen!

Ist der Knochen aber schon kariös geworden, so finden wir auf der Röntgenplatte Mangel jeder normalen Struktur und eine Anzahl unregelmäßig großer und unregelmäßig verteilter heller Flecken. In den Fällen, in denen der Knochen ganz zerstört ist, gibt er keinen tieferen Schatten als die ihn umgebenden Weichteile.

Bei der Spina ventosa finden wir keine Atrophie; dieselbe ist zirkumskript abgegrenzt.

Daß auch für die Therapie grade bei der Tuberkulose der Knochen und Gelenke das Röntgenbild heute gradezu unentbehrlich ist, darauf hat Lange erst kürzlich wieder hingewiesen. Der Kalkmangel oder die beginnende Zerstörung läßt sich im Röntgenbild deutlich erkennen und ermahnt uns zur Vorsicht; andererseits zeigt die Zunahme des Kalkgehaltes, die ja an den wieder schärfer werdenden Kontouren der Bilder deutlich zu erkennen ist, die fortschreitende Heilung und lehrt uns, wann von der Entlastung des kranken Beines abgesehen werden kann und wann das Gelenk wieder völlig frei gegeben werden darf.

Nächst der Tuberkulose kommt für die Röntgenuntersuchung am häufigsten die chronische Osteomyelitis in Betracht, die sich durch eine Verdickung dokumentiert, die ganz gleichmäßig ansteigt und abfällt. Meist zieht an der verdickten Partie parallel zur Kontour der Knochenrinde eine ca. $1^1/_2$ mm abstehende zweite Linie, die eine gleichzeitig bestehende ossifizierende Periostitis anzeigt.

Für die Osteomyelitis ist eine hochgradige Sklerosierung des Knochens geradezu typisch, deshalb geben hier die Knochen immer sehr kontrastreiche Bilder mit scharfen Kontouren, während dies, wie wir bereits gesehen haben, bei der Tuberkulose nicht der Fall ist.

Auch Sequester können wir mit Hilfe des Röntgenbildes sichtbar machen. Köhler bezeichnet den Zeitraum von acht Wochen als den frühesten Termin, an dem dieselben auf der Platte nachweisbar sind. Wir können genau ihre Größe und Lage bestimmen und genau auch den Zeitpunkt, an dem sie vollkommen gelöst sind.

Auf der andern Seite können wir aber auch wieder die allmählich zunehmende Knochenbildung solcher durch Osteomyelitis zerstörten oder ausgestoßenen oder durch die Operation entfernten Knochen erkennen und genau in ihrem Verlauf verfolgen. Schnell und rasch geht die Neubildung oft vor sich, zuerst in Gestalt eines schmalen, schattengebenden Saumes, der sich immer und immer mehr verdickt, bis er wieder einen vollständigen Knochen darstellt.

Bei der Lues kommt eigentlich nur die tertiäre Periode in Frage. Meist handelt es sich in diesen Fällen um ossifizierende Periostitiden. Der befallene Knochen behält seine normale Gestalt;

ein gleichmäßig breiter Schattenstreifen liegt der Korticalis auf, sodaß es oft Schwierigkeiten macht, diese Erkrankung auf der Platte von den andern bereits erwähnten Erkrankungen zu unterscheiden. Oft sind aber auch an den Knochen unregelmäßige Verkrümmungen und Knickungen nachweisbar; ihre Solidität wechselt auffällig. Sie lassen kleine flache Höcker erkennen und daneben wieder kleine Vertiefungen, sodaß ossifizierende und rarefizierende Periostitis mit einander abzuwechseln scheinen.

Auch die Gummata können oft eingreifende Zerstörungen am Knochen in kurzer Zeit hervorrufen. Wir können in dieser Beziehung nur Köhlers Erfahrungen bestätigen; auch wir sahen, daß in der Nähe eines solchen Gumma's die Weichteile einen dunkleren Schatten als an anderen Partien erkennen ließen infolge der sehr dichten und umfangreichen Infiltration.

Bei der Arthritis deformans sind die geraden Gelenklinien verschwunden; der Knorpel zeigt sich zerfasert, gleichsam angenagt und abgeschliffen. Die Veränderungen an den betreffenden Knochen sind so charakteristisch und so deutlich, daß wir hier nicht näher mehr darauf einzugehen nötig haben. Dasselbe Bild zeigt sich auch in den Anfangsstadien der Arthopathia tabica, die aber namentlich interessante Röntgenbefunde in den schon späteren Stadien aufzuweisen haben. Wir können verfolgen, wie sich an den Gelenkenden einzelne Knochenstücke allmählich immer mehr und mehr loslösen, um sich dann schließlich als vollkommen freie Knochenstücke zu präsentieren, u. dergl. m.

Ferner kommen noch die Rhachitis und die Osteomalazie in Betracht, deren Verlauf wir mit Hilfe der Röntgenstrahlen von Anfang bis zu Ende genau verfolgen können. Wenn die Strahlen hierbei auch nun in Bezug auf die Therapie etc. nicht von allzu großem praktischem Wert sind, so sind sie doch sicherlich von großem wissenschaftlichem Wert. Und wie bei den Verletzungen und Brüchen, so sind sie uns auch hierbei ein willkommener Helfer und Mitarbeiter beim klinischen Unterricht. Klar und deutlich können wir dies alles heutzutage unsern Zuhörern vor Augen führen und demonstrieren, ohne daß wir zu fürchten haben, mißverstanden zu werden.

Bei beiden Erkrankungen fällt vor allen Dingen die Dichtigkeitsdifferenz der Knochen in die Augen. Dieselben sind kalkärmer und je nach dem Gehalt ihrer Kalksalze geben sie überhaupt keinen Schatten oder nur einen geringen. Auch die ganze Architektur des Knochens ist verändert; so konnte Gocht in einem Falle von Osteomalazie konstatieren, daß der ganze architektonische Bau des Knocheninneren verschwunden war und nur hie und da einmal einige isolierte Bälkchen aufwies.

Bei der Rhachitis finden wir namentlich Veränderungen an den Epiphysenknorpeln, und zwar hauptsächlich an der gegen die Markhöhle gerichteten Grenze der Knorpelfuge. Während dieselbe beim normalen Knochen parallel laufend und geradlinig ist, ist dieselbe beim rhachitischen unregelmäßig und zickzackförmig.

Des Weiteren sind auch Untersuchungen über Riesen- und Zwergwuchs, über die Skelettentwicklung und über die Störungen des Knochenwachstums bei Kretinismus mit Röntgenstrahlen angestellt, die mancherlei Aufklärungen in wissenschaftlicher Beziehung auf diesem Gebiet gebracht haben.

Auch die bei Akromegalie und bei Lepra gemachten Beobachtungen mögen hier erwähnt werden.

Kurz berührt hatten wir schon vorhin bei der Tuberkulose der Knochen und Gelenke die sogenannte Atrophie der Knochen, eine Anomalie derselben, die wir erst durch die Röntgenstrahlen gefunden und kennen gelernt haben. Sudeck und Kienböck haben sich um die Erklärung dieser interessanten Erscheinung sehr verdient gemacht.

Wie bereits erwähnt, finden wir eine Atrophie der Knochen bei den verschiedensten Entzündungsprozessen an den Extremitäten. Die Knochen erscheinen durchgängiger, blasser; es gibt keine scharfen, sondern nur verschwommene Bilder; die Struktur ist zarter und schwerer zu erkennen, ja bei hochgradigen Atrophien verschwindet sie ganz.

Die Atrophie wurde früher wohl fälschlich Inaktivitätsatrophie der Knochen genannt; man schrieb ihre Herkunft der langen Ruhigstellung des betreffenden Gliedes allein zu. Es handelt sich aber sicherlich nicht um eine solche Inaktivitätsatrophie allein, sondern es sind mehrere Komponenten, die hierbei mitwirken. Man neigt neuerdings allenthalben zu der Annahme hin, daß die Atrophie in erster Linie anf Zirkulationsstörungen infolge gewisser Vorgänge im Nervensystem, vielleicht trophoneurotischer Natur, oder infolge reflektorischer Vorgänge zurückzuführen ist.

Wiederholt haben wir schon erwähnt, daß es uns mit Hülfe der Röntgenstrahlen gelingt, gewisse Architekturveränderungen des Knochensystems nachzuweisen, eine Tatsache, auf die wohl Gocht zuerst aufmerksam gemacht hat.

Es ist dies ein einfaches und bequemes Verfahren, das uns auf der einen Seite die Möglichkeit gewährt, viel feinere Strukturen zur Anschauung zu bringen, als es durch irgend eine andere Methode möglich ist, auf der andern Seite, auch das durch das Röntgenbild fixierte Präparat einer nachfolgenden genauen mikroskopischen Untersuchung zu unterziehen.

Julius Wolff machte schon 1896 auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte darauf aufmerksam, daß neben dem diagnostischen Hilfsmittel, das uns die Röntgenstrahlen seien, auch noch etwas anderes in Frage komme, nämlich die Bedeutung der zu verschiedenen Zeiten wiederholten Durchstrahlung eines Körperteils eines und desselben lebenden Individuums als eines Hilfsmittels zur Erforschung wichtiger, auf andere Weise viel schwerer oder garnicht zu lösender wissenschaftlicher Fragen zunächst auf dem Gebiete der Chirurgie.

Da wir mit staunenswerter Deutlichkeit nicht nur alle äußeren Veränderungen, sondern auch die innere Architektur der Knochen sehen können, haben wir in den Röntgenstrahlen ein Untersuchungsmittel gefunden, durch welches die Lehre von den erworbenen und angeborenen Deformitäten eine wertvolle Vervollständigung gewonnen hat. Es werden uns bei den angeborenen Deformitäten, den angeborenen Defekten, den Spaltbildungen und anderen derartigen Vorkommnissen die Lagerung der einzelnen Teile in situ vorgeführt, wir werden aufs genaueste über die Form, die Größe, die Gestalt und die Architektur der vorhandenen Knochen orientiert, wir sehen aufs genaueste, welche Knochen ganz oder zum Teil fehlen, kurz wir erhalten vielfach wertvollere Aufschlüsse, als uns die Durchforschung anatomischer Präparate aus begreiflichen Gründen geben kann. Joachimsthal hat sich auf diesem Gebiete große Verdienste erworben durch die beiden Atlanten, die er herausgegeben hat.

Auch Untersuchungen über die Ossifikation einzelner Skeletteile sind angestellt worden, so erst jüngst wieder in einer ausführlichen Arbeit von Hasselwander über den menschlichen Fuß, der es unbedingt für nötig erachtet, neben dem Studium der anatomischen Präparate auch die Röntgenuntersuchungsmethode anzuwenden. Er hebt zunächst als unschätzbaren Vorzug den hervor, daß es uns bei dieser Untersuchungsmethode möglich ist, ein unbegrenztes Material von Kindern der verschiedensten Lebensalter auf den Stand der Ossifikation hin zu untersuchen, während das zugängliche Leichenmaterial gerade aus dem Kindesalter meist ein lückenhaftes ist. Ein weiterer großer Vorteil ist der, daß dem Untersucher ein Kindermaterial von völlig normalem Ernährungszustand zugänglich gemacht wird und daß die Übersichtlichkeit, mit der die Röntgenstrahlen die Untersuchungsobjekte wiedergeben, tadellos ist. Während nämlich bei bloßer präparatorischer Untersuchung leicht der Fall eintreten kann, daß kleine oder exponiert gelegene Ossifikationszentren dem Untersucher entgehen können, ist dies bei der Klarheit der skiagraphischen Bilder nicht leicht möglich.

Daß natürlich dies Verfahren auch gewisse Nachteile den anatomischen Untersuchungen gegenüber hat, das soll nicht verschwiegen werden. Es soll ja aber auch kein Verfahren das andere verdrängen, sondern beide sollen sich ergänzen.

Auch die arteriosklerotisch veränderten Blutgefäße geben sehr deutliche Röntgenbilder und bieten uns somit die Möglichkeit, in gar manchen Fällen schon in früheren Stadien die Diagnose zu stellen, als es uns sonst möglich war. Ich erinnere nur an das intermittierende Hinken, bei dem wir gewöhnlich eine Verkalkung der Fußarterie nachweisen können.

Ein Gebiet, auf dem es uns erst neuerdings gelungen ist, bessere Resultate durch die Röntgenuntersuchung in Bezug auf die Darstellung zu erreichen und bessere Erfolge zu zeitigen, stellen die Nieren-, Blasen- und Gallensteine dar. Wir kommen hierauf im speziellen Teile dieses Abschnittes noch ausführlich zu sprechen.

Spezieller Teil.

Nachdem wir nun so einen kurzen Überblick über die Anwendung und Verwertung der Röntgenstrahlen auf dem Gebiete der Chirurgie im allgemeineu gegeben haben, wollen wir jetzt dazu übergehen, die einzelnen Körperteile gesondert zu betrachten und die wichtigsten anormalen Verhältnisse an diesen besprechen, soweit sie in Beziehung zu den Röntgenstrahlen stehen.

Beginnen wir mit dem

Kopf und Hals.

Eine große Bedeutuug, ja wir möchten sagen, wohl die größte Bedeutung für den Kopf haben die Röntgenstrahlen sicherlich für den Nachweis von Fremdkörpern im Schädel, von denen in erster Linie und vornehmlich nur die Projektile in Frage kommen. Es ist sehr wohl möglich, und die vielerorts gemachten Erfahrungen haben es ja zur Genüge bewiesen, diese im Gehirn nach Größe und Lage mit aller Sicherheit zu konstatieren.

Wie wichtig der Nachweis derartiger Geschosse und ihrer Lage, wie wichtig in gewissen Fällen ihre Entfernung ist, das ist ja sofort klar und deutlich, wenn wir bedenken, wie schwere Störungen durch solche Projektile hervorgerufen werden können. Bekanntermaßen treten ja derartige Störungen nicht immer sogleich im Anschluß an die stattgehabte Verletzung auf, sondern können auch oft genug noch nach einem kürzeren oder längerem Stadium der Latenz sowohl schwere funktionelle Störungen allgemeiner Natur, wie auch lokale Prozesse in der Hirnsubstanz hervorrufen, die selbst nach den gesammelten Erfahrungen noch nach Jahren den Tod zur Folge haben können.

Es soll nun damit nicht etwa gesagt sein, daß wir jede Kugel, deren Vorhandensein und deren Lage wir mit Hilfe der Röntgenstrahlen bestimmt haben, entfernen sollen. Durchaus nicht, das wäre entschieden verkehrt. Es sind genug Fälle beobachtet, wo derartige Geschosse bis zum Lebensende des betreffenden Trägers im Gehirn verblieben, ohne ihm irgend welche nennenswerten Beschwerden zu verursachen.

Um die Lage des Projektiles zu eruieren, macht man am besten zwei Aufnahmen, eine frontale und eine laterale, d. h. also eine hintere oder vordere und eine seitliche. Man kreuzt sodann die Durchmesser diagonal und kann auf diese Weise die Entfernung des Fremdkörpers von der Oberfläche berechnen.

Beck rät, auf beiden Skiagrammen, die jeweilige Distanz vom nächsten Knochenvorsprung zu messen und dieselben mit den Verhältnissen eines normalen Schädels zu vergleichen. So lassen sich dann die Distanzverhältnisse mittelst Sondenabmessung annähernd berechnen und so gelingt es uns auch, in den Fällen, bei denen jegliche klinischen Anhaltepunkte über den Sitz der Kugel im Schädel fehlen, diesen doch mit ziemlicher Genauigkeit zu bestimmen.

Gocht hat schon in den ersten Jahren der Röntgenaera ganz mit Recht darauf hingewiesen, daß Operationen zum Zweck der Entfernung von Projektilen aus dem Schädelinnern durch die Röntgenuntersuchungsmethode wesentlich erleichtert, ja daß in vielen Fällen der chirurgische Eingriff überhaupt erst in der richtigen Weise möglich gemacht wird. Wir sind imstande, schon vor der Operation mit Hilfe der Röntgenstrahlen festzustellen, ob die vorhandenen schweren Symptome durch die augenblickliche störende Lage des betreffenden Projektils hervorgerufen werden, oder ob die Zerstörungen im Bereiche des Schußkanals und eine eventuelle Infektion die Ursache sind. Daß natürlich im letzteren Falle die Kugel in Ruhe gelassen werden muß und daß man sich bezüglich chirurgischen Eingriffes nur nach den klinischen Symptomen zu richten hat, wenn man überhaupt einen Erfolg erwartet, das liegt wohl klar auf der Hand.

Andere Fremdkörper im Bereich des Kopfes sind gleichfalls eruierbar.

In der Tonsille eines Patienten fand man eine abgebrochene Nadelspitze, die absolut nicht auf andere Weise nachgewiesen werden konnte, so fand man eine Anzahl Nägel, die sich ein Geisteskranker in die Kopfhaut gebohrt hatte, so fand man Fremdkörper anderer Art in der Nase und in den Augen, die oft von recht, recht bescheidener Größe sein können.

Um letztere nachzuweisen, wenigstens um ihren ungefähren Sitz bestimmen zu können, bedarf es auch wieder mehrerer Aufnahmen von verschiedenen Seiten, unter Umständen mit veränderter Stellung der Röhre, wie es Gocht angegeben hat. Der erste negative Ausfall ist noch kein Beweis dafür, daß überhaupt kein Fremdkörper im Auge vorhanden ist.

In Fällen, in denen es von Wichtigkeit ist, zu wissen, ob ein mit Hilfe der Strahlen gefundener Körper noch innerhalb des Aug-

apfels sitzt oder ob er denselben vollständig durchbohrt hat und hinter denselben lagert, hat Köhler sich eines ebenso einfachen als sicheren Mittels bedient, das er erst kürzlich in den Fortschritten auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen veröffentlicht hat. Er empfiehlt, zunächst zwei Röntgenaufnahmen zu machen, durch die man sich von dem Vorhandensein eines Fremdkörpers überzeugen kann. Ist dies geschehen, folgt bei Profilkopflage eine weitere Aufnahme; während derselben läßt man die Blickrichtung wechseln, und zwar nicht planlos nach beliebigen Richtungen, sondern nur nach zwei entgegengesetzten Seiten hin. Sitzt nun der Fremdkörper im Bulbus, so erhalten wir einen vervielfältigten und deshalb nicht klaren und verschwommenen Schatten jenes auf der Platte; sitzt er dagegen außerhalb desselben, dann bleibt der betreffende Schatten einfach, scharf und stark kontrastierend.

Zur Vorsicht bei Deutung des Augenbildes mahnt Gocht im Hinblick auf einen Fall, den er beobachten konnte und bei dem, trotz der Entfernung eines metallischen Fremdkörpers aus dem Auge an derselben Stelle ein Schatten zu konstatieren war, der allerdings nicht mehr ganz so tief, aber doch von derselben Form wie der zuerst nachgewiesene war. Gocht sucht diesen so zu erklären, daß das den Fremdkörper umgebende Gewebe narbig verändert und mit Oxydationsprodukten geladen war und so trotz der Beseitigung des Fremdkörpers noch lichtabsorbierend wirkte.

Auch in der Zahnheilkunde haben wir von den Röntgenstrahlen Nutzen gezogen. Am besten verwenden wir hierbei klein geschnittene Glasplatten oder noch besser Films, die wohl deshalb den Vorzug verdienen, weil sie sich einigermaßen der Kieferform anschmiegen können.

Port, der sich gerade auf diesem Gebiet große Verdienste erworben hat, konnte so z. B. bei Kindern die Keime der bleibenden Zähne deutlich erkennen und Anomalien der Stellung und des Durchbruchs nachweisen, Dinge, bei denen es sich allerdings in der Hauptsache um wissenschaftliche und wissenswerte Aufschlüsse handelte. Er konnte den Strahlen aber auch einen praktischen Wert abringen, indem er z. B. mit ihrer Hilfe Verkrümmungen von Wurzeln kenntlich machte, die einer Extraktion Schwierigkeiten bereiten konnten. Über Exostosenbildungen, über das Vorhandensein und die Lage von Wurzelstümpfen oder Sequestern im Kiefer, über die Lage abgebrochener Instrumente oder Plomben in den Wurzelkanälen, über Granulationen an der Wurzelspitze gangränöser Zähne und über andere unklare Dinge konnte er sich mit Hilfe der Röntgenuntersuchung genau orientieren.

Bei Frakturen der Schädelknochen können natürlich die Röntgenstrahlen nicht das leisten, was sie an andern Körperteilen gerade auf diesem Gebiet zu leisten vermögen; sie können uns hier aus begreiflichen Gründen nicht in allen Fällen befriedigenden Aufschluß geben. Das „schattenreiche Röntgenbild" des Schädels, vor allem beim Erwachsenen, ist daran Schuld.

Es gelingt uns zwar, Frakturen der Gesichtsknochen, vor allem der Nasenknochen, der Jochbeine, der Kiefer etc. auf den Röntgenbildern darzustellen, bei andern aber gelingt es uns nur schwer, beziehungsweise garnicht.

Anders verhält es sich schon mit den Geschwülsten, bei denen uns die Röntgenstrahlen in manchen Fällen von großem Wert sein können, da sie uns nicht nur über den Sitz, sondern auch über die Ausdehnung der betr. Geschwulst genau Aufschluß geben können. So gelang es z. B. Beck, bei einem Rundzellensarkom der Orbita den Zusammenhang mit der Orbitalwand und das Hineinwuchern in das Foramen opticum skiagraphisch nachzuweisen und so die technischen Schwierigkeiten der Operation von vornherein zu illustrieren.

Im Innern des Schädels sind Geschwulste natürlich nur unter besonders günstigen Umständen nachzuweisen. Einen Hirnabszeß durch Röntgenstrahlen aufzufinden und zur Anschauung zu bringen ist Sträter gelungen. Allerdings lagen in diesem Falle die Verhältnisse äußerst günstig, da es sich um die Schädeldecke eines siebenjährigen Knaben handelte und da es sich ferner um dickflüssigen Eiter handelte, wodurch die Differenzierung zwischen Gehirnmasse und Abszeß deutlicher wurde.

Oppenheimer konnte bei Hypophysistumoren eine Vertiefung der Sella turcica mit Röntgenstrahlen schon mehrfach feststellen.

Auch die Tuberkulose, die Osteomyelitis, die Lues etc. werden in gewissen Fällen namentlich an den Kiefern nachweisbar sein.

Eiterungen in der Kieferhöhle und in der Stirnhöhle, beides Höhlen, die sich scharf und hell auf einem normalen Röntgenbilde abzeichnen und erkennen lassen, können sich insofern bemerkbar machen, als die erkrankte Seite gewöhnlich dann einen dunkleren Schatten zeigt als die gesunde.

Am Halse sind Frakturen des Zungenbeins und des Kehlkopfes nachzuweisen, desgleichen auch Fremdkörper im Kehlkopf, in der Luft- und Speiseröhre in ihren oberen Partien. Mit einem Schlage können wir uns mit Sicherheit davon überzeugen, daß erstens der Fremdkörper überhaupt da ist, und ferner, wo er zu suchen ist. Wir kommen noch näher im folgenden Kapitel darauf zu sprechen.

Selbst die Kropfformen lassen sich in den meisten Fällen auf den Röntgenbildern unterscheiden, in denen wir auch hier wieder nach Becks Erfahrungen ein treffliches Hilfsmittel gefunden haben. Die Feststellung des Kropftypus, die doch in einer Anzahl von Fällen weder durch Inspektion oder Palpation, noch durch das Laryngoskop möglich ist, ist doch immerhin für die Therapie von Bedeutung.

Es ist Beck und andern gelungen, bei den sehr häufigen zystischen und fibrösen Formen die Kalkablagerungen als sehr deutlich markierte Schatten darzustellen. Der Zystenkropf zeigt im Frühstadium weniger deutliche, aber immerhin noch wohl erkennbare rundliche oder elliptische Schatten, später oft diffuse Kalkherde.

Nach Becks Ansicht ist deshalb in den Fällen, in denen die Strahlen das Vorhandensein von Kalkherden nachgewiesen haben, weder von der Injektions- noch von der Organtherapie etwas zu erwarten, da sich doch bekanntermaßen nur die follikulären und kolloiden Formen besonders dazu eignen. Hier soll dann das Messer in seine Rechte treten.

Durch das Röntgenbild läßt sich auch feststellen, wie weit restrosternale Strumen reichen.

Daß es Beck auch gelungen ist, verkäsende Halsdrüsen, namentlich wenn sie kalkige Beimischungen enthalten, deutlich darzustellen, soll hier der Vollständigkeit wegen nur erwähnt werden.

Auf die Erkrankungen bezw. Verletzungen der Halswirbelsäule wollen wir hier nicht näher eingehen, da dieselben in einem gesonderten Kapitel noch später besprochen werden sollen. Nur möchten wir noch auf eine Eigentümlichkeit aufmerksam machen, die erst in der jüngsten Zeit die Aufmerksamkeit der Chirurgen auf sich gezogen hat; es ist die sogenannte Halsrippe, eine überzählige Rippe, die stets dem siebenten Halswirbel angelagert ist und mit ihm meist in gelenkiger Verbindung steht. Das Röntgenbild läßt sie natürlich deutlich erkennen und hat uns gezeigt, daß sie häufig doppelseitig vorkommt, jedoch auch einseitig vorhanden sein kann. Wir können diese Deformität des öftern als zufälligen Befund erheben, da sie mitunter keine Beschwerden macht. Sie kann aber auch Beschwerden machen durch Änderung der Zirkulation und durch nervöse Störungen, die mit der Zeit selbst zu schwinden pflegen, in manchen Fällen aber auch so heftig und anhaltend sein können, daß das einzige und sicherste Mittel, diese zu beseitigen, in Anwendung gezogen werden muß: die Resektion der Rippe.

Brust und Bauch.

Vorausschicken möchten wir auch hier, daß wir die Verletzungen und Erkrankungen der Wirbelsäule erst im nächsten Abschnitt besprechen werden.

Für den Chirurgen kommen auch bei der Brust und beim Bauch zunächst wieder in erster Linie die Fremdkörper in Betracht. Es kann sich um Geschosse handeln, die im Innern oder in den Wandungen des Brustkorbes sitzen. Wir sehen deutlich, ob sie auf den Rippen aufsitzen oder nicht, wir sehen auch, ob die Rippen unverletzt sind, wir sehen etwaige von diesen abgesprengte Knochensplitter, die wir dann entfernen können.

Am besten werden die Brustaufnahmen bei angehaltenem Atem gemacht, was ja heute bei der kurzen Expositionszeit keine Schwierigkeiten bereitet.

Rippenfrakturen lassen sich mit Hülfe der Röntgenstrahlen gut darstellen und können nicht übersehen werden, desgleichen auch Frakturen des Schlüsselbeins, bei denen wir vor allen Dingen leicht kontrollieren können, ob der angelegte Verband die Bruchstücke auch gut aneinander adaptiert hält. Weiterhin geben uns die Röntgenstrahlen Aufschluß über Neubildungen an der Brustwand.

Wir können genau konstatieren, wie weit jene bereits vorgeschritten sind, und können danach unseren Operationsplan bestimmen und festsetzen. Auch mediastinale Geschwülste sind nachgewiesen worden und des öftern schon der Sitz einer Ösophagusstenose mit Hilfe einer eingeführten Sonde. Am besten bedient man sich dabei der Hohlsonden, welche mit Schrot, Metalldrähten oder ähnlichem versehen sind.

Die Erweiterungen bezw. die Verengerungen des Ösophagus hat man auch noch auf andere Weise sichtbar zu machen gesucht durch Füllung mit konzentrierter Wismuthlösung oder dadurch, daß man mit Wismuth gefüllte Gelatinkapseln schlucken ließ, welche durch die Stenose am Weitergleiten verhindert wurden. So erzielte z. B. Kümmell ein sehr schönes und klares Röntgenbild dadurch, daß er einen sehr ausgedehnten Ösophagusdivertikel mit Kartoffelbrei füllte, welcher stark mit Wismuth vermischt war. Die operative Entfernung gelang nach dem Röntgenbilde ohne Schwierigkeit. Der Patient wurde geheilt.

In zweiter Linie kommen dann die Fremdkörper in Betracht, die ihren Sitz in den Bronchien, bezw. in der Speiseröhre haben können und die natürlich so bald als möglich und auch so schonend als möglich entfernt werden müssen.

Verschluckte Hemdenknöpfe in den Bronchien, verschluckte Gebisse im Ösophagus konnten so nachgewiesen werden; unter der fortwährenden Kontrolle des Durchleuchtungsschirmes wurde die Entfernung desselben vorgenommen unter Anwendung der in Frage kommenden Instrumente, deren Bewegungen und deren Gang man genau verfolgen konnte. Wir sehen deutlich das Vordringen der Sonde und sehen auch deutlich, sobald dieselbe den betreffenden Fremdkörper erreicht und berührt. Jedes planlose und unnötige Stoßen und Herummanipulieren wird dadurch vermieden.

Man sollte sich heutzutage deshalb die Vorteile nicht entgehen lassen und immer in derartigen Fällen diese Untersuchungsmethode anwenden.

v. Hacker will die Untersuchung mit Röntgenstrahlen be-

sonders dann angewendet wissen, wenn die Sondenuntersuchung bezw. die Ösophagoskopie aus gewissen Gründen kontraindiziert ist, z. B. bei Erscheinungen von Phlegmonen und namentlich auch, wenn nach stattgehabter Perforation des Ösophagus der Körper schon außerhalb desselben gelagert ist. In solchen Fällen kann man mit anderen Untersuchungsmethoden wohl die Perforationsstelle im Ösophagus nachweisen, nicht aber den Körper selbst.

Daß auch das Röntgenverfahren zu Fehlschlüssen führen kann, hat Sprengel gezeigt, der auf Grund des Röntgenbildes eine im linken Bronchus steckende Nadel zunächst im Ösophagus suchte. Wir müssen deshalb auch hier mit aller Vorsicht und Genauigkeit den Sitz des Fremdkörpers mit den uns zu Gebote stehenden und bereits erwähnten Mitteln zu erforschen suchen.

Auch bei den chirurgisch wichtigen Lungenerkrankungen, vor allen Dingen bei Lungengangrän und Lungenabszessen, können uns die Röntgenstrahlen manch wichtigen Aufschluß geben. Lenhartz und Rißling haben auf dem ersten Röntgenkongreß tadellose Reproduktionen vorgeführt. Scharf umgrenzte helle Herde hoben sich aus dem dunklen Schatten der Lunge ab und bezeichneten genau den Sitz und die Ausdehnung der Erkrankung, Befunde, die in einer Reihe von Fällen durch die vorgenommene Operation bezw. Sektion voll und ganz in Bezug auf ihre Genauigkeit bestätigt wurden. Man konnte auch auf den vor und nach der Operation aufgenommenen Röntgenbildern oft genug das mehr und mehr fortschreitende Aufhellen des verdichteten Lungengewebes u. dergl. m. klar vor Augen führen und sich so einen unumstößlichen Beweis für den Erfolg oder Nichterfolg der Operation verschaffen.

Auch im Magen und Darm befindliche Fremdkörper lassen sich gut auf der Platte darstellen und leicht erkennen, wenn sie auch öfters etwas verwischt und unscharf erscheinen infolge der respiratorischen Verschiebung und gelegentlich auch infolge der peristaltischen Bewegungen des Magens oder Darms. Die sonderbarsten Fremdkörper sind auf diese Weise schon nachgewiesen worden. Vor allen Dingen hat man auch den Murphyknopf auf seinen Wanderungen durch den Darm verfolgt. Man kann feststellen, ob er in den Magen zurückfällt, ob er lange in der Anastomose stecken bleibt, wo er bekanntlich dann gewisse Störungen verursachen kann, oder ob er sich vorzeitig gelöst hat. Ist er nicht mehr auf der Platte sichtbar, dann ist er sicherlich per vias naturales abgegangen, auch wenn er nicht etwa von den nicht immer achtsamen Wärtern etc. in den Faeces gefunden wurde. Derartige Fälle sind beobachtet.

Auch beim Magen gelingt es mit den bereits erwähnten

Hohlsonden sich über die Grenzen desselben zu orientieren. Besser aber als diese Sondeneinführung oder wohl auch als die von anderer Seite empfohlenen Lufteinblasungen hat sich das von Rieder angegebene Verfahren bewährt. Auch er verwendet das Bismutum subnitricum, von dem er trotz der Verabreichung relativ großer Mengen niemals eine nachteilige Wirkung auf den Organismus beobachten konnte, abgesehen vielleicht von einer vorübergehenden Obstipation.

Bei der Zufuhr per os läßt Rieder die zu verwendenden Nahrungsmittel, am besten Mehlbrei, Kartoffelbrei, Milch, Fleischpurée od. dergl. in einer Menge von etwa 0,4 Kilo mit ca. 30 gr Bismutum subnitricum vermengen; bei der Zufuhr per rectum wurde eine Mischung von ca. 1000 ccm Wasser oder Milch oder Öl mit 100 gr Bismutum dem Darm einverleibt.

Die Aufnahmen empfiehlt er sämtlich bei aufrechter Stellung der Versuchsperson zu machen, und zwar während der Atempause in Inspirationsstellung, wobei man allerdings berücksichtigen muß, daß die im Epigastrium gelegenen Eingeweide, also zunächst Magen und Colon transversum, etwas nach abwärts gedrängt werden.

Zu den Fremdkörpern in den Unterleibsorganen müssen wir auch die Blasen-, Gallen- und Nierensteine rechnen, deren Darstellung mit zu den schwierigsten Aufgaben des Arztes gehört, ja deren Darstellung bis vor kurzem fast nie gelingen wollte, abgesehen natürlich von den Blasensteinen, die selbst im Anfang der Röntgenära des öftern schon nachgewiesen werden konnten. „Wenn wir auch reiche Hilfsmittel besitzen, um die Steine der Blase dem Auge und der fühlenden Hand erkennbar zu machen, so möchte ich es doch für nicht unwesentlich halten, wenn man auf schmerzlose Weise ohne jede Belästigung des Kranken den Inhalt der Blase, soweit es sich um Steine handelt, auf der photographischen Platte dem Gesichtssinne je nach ungefährer Größe, Gestalt und Zahl zugänglich macht.“ Dies sind Kümmells Worte, die wir Wort für Wort unterschreiben können.

Nicht so leicht gelang die Darstellung der Gallen- und Nierensteine. Erst die neuere Zeit brachte mehr Erfolg und ließ deutlich die Fortschritte erkennen, die wir auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen auch hierbei mit der verbesserten Technik gemacht hatten.

Daß natürlich die Zusammensetzung der Steine auf die Schärfe des Bildes von Einwirkung ist, und daß die Darstellungsfähigkeit in einem gewissen Verhältnis zur Dichtigkeit steht, das ist wohl ohne jeden Zweifel; diese Zusammensetzung nun aber allein verantwortlich zu machen für die negativen Resultate, wie

man das früher tat, davon ist man wohl heute abgekommen, und Albers-Schönberg hat erst kürzlich wieder darauf hingewiesen, daß die noch immer mangelhafte Technik daran schuld ist. wenn auch gewisse nicht zu unterschätzende Nebenumstände noch hinzukommen, wie die Beleibtheit der Patienten, die Winzigkeit der gesuchten Steine u. a. m.

Versuche, die Beck betreffs der Transparenzverhältnisse der Gallensteine anstellte, ergaben folgende Resultate:

Die am häufigsten vorkommenden gemeinen Gallensteine, die bekanntlich eine harte Außenseite und einen weichen Kern haben, lassen sich ziemlich gut erkennen, wenn die Außenschicht dicht ist; ist sie aber dünn, so sind dieselben gerade noch angedeutet.

Die reinen Cholesterinate sind weniger transparent und zeigen deshalb auch deutlichere Linien.

Bei den geschichteten Cholesterinsteinen kann man auf ein sehr deutliches Skiagramm rechnen, namentlich wenn größere Mengen von kohlensaurem Kalk vorhanden sind.

Die Transparenz der gemischten Bilirubinkalksteine ist geringer als die aller vorher beschriebenen Formen, und deshalb geben diese auch die besten Bilder.

Kümmell kam auf Grund seiner Untersuchungen zu der Ansicht, daß Gallensteine auf der Röntgenplatte nur dann einen deutlichen Schatten geben, wenn sie nicht von Galle umgeben sind, Das ein deutliches Bild verhindernde Medium ist die Galle selbst und nicht die chemische Zusammensetzung der Steine; das glaubt er aus dem Umstande schließen zu müssen, weil in einer ganzen Reihe von Fällen die beim Lebenden durch Röntgenbild festgestellten und operativ entfernten Steine trotz ihrer verschiedenen chemischen Zusammensetzung gleich deutliche Schatten auf der Röntgenplatte gegeben hatten.

Auch Matthias und Fett sind der gleichen Ansicht; der Nachweis von Gallensteinen ist nicht deshalb so schwierig, weil sie an und für sich für die Röntgenstrahlen leicht durchgängig sind, sondern weil sie von einem Medium dicht umgeben werden, das für die Röntgenstrahlen mit ihnen etwa den gleichen Durchgängigkeitsindex hat. Man erhält ihrer Meinung nach bei der Röntgenaufnahme der Gallensteine keine so deutlichen Intensitätsdifferenzen in dem Schattenbilde der Leber- und Gallenblasengegend, daß man mit Sicherheit die Diagnose auf Gallensteine stellen könnte.

Bei den Nierensteinen kommt nach Albers-Schönberg und anderen, gleiche Dichte der zu vergleichenden Steine natürlich vorausgesetzt, den oxalsauren Steinen das höchste Absorptionsvermögen zu; an zweiter Stelle stehen die Phosphatsteine und an

dritter die harnsauren, die in einzelnen Fällen infolge ihres Kalkgehaltes recht gut darzustellen sind. Xanthin- und Zystinsteine sollen die ungünstigsten Verhältnisse darbieten.

Bezüglich der Technik, deren wirklich genaue Durchführung nach Kümmells und Anderer Ansicht für die Sichtbarmachung eines Steinschattens viel wichtiger ist, als der körperliche Durchmesser des Patienten, als die Größe der Steine, als das Ueberwiegen der Oxalate oder der Karbonate, der Phosphate oder der Urate, verweisen wir auf die entsprechenden Kapitel dieses Buches.

Aus einem negativem Ausfall einer Gallensteinaufnahme dürfen natürlich noch keine voreiligen Schlüsse gezogen werden; sie ist noch nicht beweisend dafür, daß derartige Steine überhaupt noch nicht vorhanden sind; dagegen ist nach den bisher gemachten Erfahrungen ein deutliches Nierenskiagramm, welches keine Anzeichen von Steinen aufweist, als ausschlaggebend zu betrachten.

Auch Kümmell ist der Ueberzeugung, daß jeder Nierenstein auf einer guten Röntgenplatte sichtbar werden muß, und umgekehrt, daß beim Fehlen eines Nierensteinschattens kein Konkrement vorhanden ist. Diese seine Behauptung sucht er durch folgende seiner Meinung nach einwandfreien Zahlen zu stützen: in einem Zeitraum von drei Jahren wurden über 300 Röntgenaufnahmen von Nieren gemacht und dabei 65 mal Nieren- oder Uretersteine positiv nachgewiesen. In 44 Fällen wurde durch die Operation, bei einigen nicht operierten Fällen durch die Symptome die Richtigkeit des Röntgenbildes genau bestätigt.

Nach Kümmell zeigen sich die Nierensteinschatten meistens einige Zentimeter seitlich von der Wirbelsäule entfernt, etwas unterhalb der 12. Rippe, an der Stelle also, die anatomisch etwa der Gegend des Nierenbeckens entspricht. Auch ein etwas höherer Sitz ist möglich. Größere Schwankungen in ihrer Lage zeigen die sekundären Steine, die natürlich mit der Ausdehnung des Nierenbeckens auch in die tiefste Stelle hinabsinken werden, an den Ureterenaustritt, wo sie sich dann durch mehr oder weniger langes Liegen gleichsam in die Ureterenmündung einschleifen können, eine Veränderung, die Kümmell auf einer Anzahl seiner Bilder deutlich zum Ausdruck bringen konnte. Die Schwierigkeiten, die sich der Feststellung, ob die Steine im Nierenbecken bei einer tiefer stehenden Niere oder im Ureter sitzen, entgegenstellten, suchte Kümmell durch Einführung eines mit einem Nickelinmandrin versehenen Ureterenkatheters zu überwinden, den er bis an die Steine heranführte. Die mit Zentimetereinteilung versehene Sonde ließ die Länge des eingeführten Instruments außerhalb der Urethra erkennen, während das Röntgenbild die am Schatten des Drahtes erkennbare

innerhalb der Blase und des Ureters verlaufende Sonde und ihre Beziehung zum Stein feststellen ließ. Wenn die Sonde ohne Schwierigkeit ein oder mehrere Uretersteine passierte und sich im Bilde mehr oder weniger weit von denselben entfernte, dann schloß genannter Autor auf Divertikelsteine, was auch regelmäßig durch die Operation bestätigt wurde.

Daß bei der Untersuchung auf Nierensteine auch reichlich Fehlerquellen vorhanden sind, die zu verhängnisvollen Irrtümern führen können, darauf hingewiesen zu haben, ist das Verdienst von Albers-Schönberg.

Die Verhältnisse liegen nach seinen Erfahrungen gerade bei den Untersuchungen im Becken besonders ungünstig, da hier eine Reihe von kalkhaltigen Gebilden vorkommt, welche Schatten auf den Platten hervorbringen und somit zur irrtümlichen Annahme von Harnleiter- oder auch Blasensteinen verleiten können.

Albers-Schönberg unterscheidet von solchen kalkhaltigen Gebilden folgende 13 Gruppen: Harnleitersteine, Harnleiter-Divertikelsteine, Blasensteine, Prostatasteine, verkalkte Myome, Extrauterin-Graviditäten, Dermoidzysten, Verkalkungen der Iliaca, Verkalkungen der Uterinalgefäße, Kotsteine, Phlebolithen, Crista-ischii Anlagerungen und Einlagerungen in die Ligamenta sacro-iliaca.

Die Differentialdiagnose ist natürlich in sehr vielen Fällen oft sehr schwierig zu stellen, namentlich wenn die klinische Untersuchung nicht genügend Anhaltspunkte gibt.

Es würde den Rahmen dieses Kapitels weit überschreiten, wollten wir uns hier auf die Einzelheiten näher einlassen. Wir verweisen auf die diesbezüglichen Arbeiten, namentlich auf die von Albers-Schönberg, in denen der, der sich für diese Sache näher interessiert, alles Wissenswerte finden wird.

Wirbelsäule.

Mit Ausnahme der Brustwirbelsäule beherrschen wir das ganze Gebiet der Wirbelaufnahmen. Die Technik der Aufnahmen ist namentlich durch das Blendenverfahren gefördert worden. (Vgl. III. Teil.)

In erster Linie kommen auch bei der Wirbelsäule die Verletzungen derselben als für das Röntgenverfahren sehr geeignet in Betracht. Wie schwer es oft gelingt, diese genau zu diagnostizieren, ja wie oft es unmöglich ist, zu unterscheiden, ob es sich um bloße Distorsionen oder Frakturen handelt, das bedarf keiner weiteren Erwähnung. In den Fällen, wo jede Inspektion, jede Palpation, kurz jede andere Untersuchungsmethode versagte, wo wir also nur Vermutungsdiagnosen stellen konnten, in diesen

Fällen präzisieren die Röntgenstrahlen genau die Art und den Sitz der Verletzung, mag sie auch noch so gering sein. Die Kreuz- und Rückenschmerzen, für die wir früher keine Anhaltspunkte finden konnten, und die oft genug selbst auch dem besten Chirurgen einiges Kopfzerbrechen machten, lassen sich heutzutage leicht erklären. Wir erkennen die Distorsionen, die Luxationen, die Frakturen in ihren verschiedenen Arten und können sofort die richtige Therapie einleiten, da auch hier wie überall der oberste Grundsatz gilt, daß die Heilung um so besser ist, je schneller die richtige Therapie angewendet wird.

Bei Aufnahmen von vorn nach hinten erkennen wir bei Luxationen die Verschiebung der Dornfortsätze; die transversale Durchleuchtung zeigt das Vorstehen des luxierten Wirbelkörpers. Bei allen Luxationen können wir unterscheiden, ob es sich um bindegewebige oder knöcherne Verwachsungen handelt, die ja beim Versuch einer Einrenkung mit Rücksicht auf das Mark leicht gefährlich werden können. In solchen Fällen werden wir natürlich jeden kräftigeren Versuch vermeiden und lieber die Luxation bestehen lassen, da ja der Zustand trotz des Bestehenbleibens derselben ein erträglicher sein kann. In jedem Falle ist es auch von großer Wichtigkeit, genau festzustellen, ob es sich nur um eine Luxation handelt oder ob dieselbe auch noch mit einer Fraktur kombiniert ist, oder ob wir es lediglich nur mit einer Fraktur zu tun haben.

Bei den isolierten Wirbelkörperfrakturen handelt es sich fast ausschließlich um sogen. Kompressionsbrüche. Die Kontinuität des Wirbels kann im Ganzen erhalten bleiben, er verändert dann nur seine Form. Es können aber auch wirkliche Fragmente vorhanden und herausgebrochen sein. Isolierte Frakturen der Wirbelbögen, der Dorn- und Querfortsätze sind leicht nachzuweisen. An der Halswirbelsäule sind dieselben ungleich häufiger als an den andern Abschnitten.

Ludloff verdanken wir vor allen Dingen wertvolle Aufschlüsse über die Verletzungen der Lendenwirbelsäule und des Kreuzbeins; er hat darauf hingewiesen, daß auch an diesen Stellen, von denen man früher annahm, daß Brüche bei ihnen garnicht oder nur selten vorkamen, nicht so selten sind. Mancher Fall von hartnäckiger Ischias oder Lumbalneuralgie dürfte wohl mit derartigen Verletzungen und Veränderungen am Foramen intervertebrale oder an einem Kreuzbeinloch zusammenhängen, wie sie von Ludloff in seinen diesbezüglichen Arbeiten beschrieben wurden, die wir nur jedem, der viel mit Unfallpatienten zu tun hat, aufs angelegentlichste empfehlen können.

Wir können derartige Verletzungen und Verschiebungen deutlich nachweisen und müssen diese, sobald sie eine dauernde Kompression auf das Mark ausüben, am besten auf operativem Wege entfernen, wobei uns auch wieder die Röntgenstrahlen gute Dienste leisten können. Früher mußte man einen großen Teil der Wirbelsäule freilegen, damit ja nichts dem Auge des Operateurs entging, heute genügt ein kleiner Schnitt, nachdem wir uns vorher durch eine Röntgenaufnahme über den Typus, den Sitz, die Größe, kurz über alle Einzelheiten der bestehenden Verletzung orientiert haben.

Oft sind die Symptome derartiger Verletzungen so gering, daß diese übersehen werden können, zumal wenn noch andere Verletzungen vorhanden sind, wie das ja so häufig vorzukommen. pflegt. Die Fraktur wird dann erst bemerkt, wenn der Patient seinen ersten Aufstehversuch macht. Eine Restitutio ad integrum erfolgt so nur in Ausnahmefällen; es bleiben dann gewöhnlich Folgen zurück. Oft nicht nachweisbare Deformitäten können mitunter mehr Beschwerden machen, als deutlich nachweisbare Veränderungen, und es wäre wahrlich nicht der erste Patient, der so trotz dauernder Klagen in den Verdacht zum mindesten einer Übertreibung kommen könnte. In allen solchen Fällen sollten wir nie auf die Röntgenuntersuchung verzichten; manches deckt sich uns auf, was wir nicht vermutet hatten.

Ferner können die Röntgenstrahlen aufklärend wirken bei Schußverletzungen, die oft zu Frakturen und Absprengungen die Veranlassung geben, und an die wir uns operativ heranmachen müssen, wenn sie eine Kompression oder Kontusion des Marks hervorrufen. Wir sehen, ob das Projektil im Wirbelkörper stecken bleibt, ob Splitter vorhanden sind oder nicht, wenigstens in gewissen Fällen, da doch losgelöste Knochensplitter im Wirbelkanal festzustellen sehr schwierig ist.

Gehen wir nun zu den Erkrankungen der Wirbelsäule über, so ist es von diesen die Spondylitis tuberculosa, die uns am meisten interessiert, da sie ja von allen entzündlichen Erkrankungen die bei weitem häufigste ist, eine Erkrankung, die fast immer die Wirbelkörper befällt, und zwar zunächst, als rein ostaler Prozeß. Viel seltener werden die Wirbelbögen befallen. Anstatt eines Herdes können sich auch zwei oder mehrere in verschiedenen Abschnitten der Wirbelsäule gleichzeitig entwickeln. Wir sehen dann an den befallenen Partien hellere, wolkig getrübte Stellen und in der Umgebung oft noch strangartige oder mehr rundliche Verdickungen, die von schwieligen und tuberkulös eingedickten Massen herrühren. Die Zwischenwirbelscheiben erscheinen weniger durchlässig.

Wir erhalten genau Aufschluß über den Sitz, über die Ausdehnung des Prozesses, sowie auch über die Art und den Grad der Zerstörung des Knochens und der vorhandenen Deformität. Eine ausgedehnte Karies läßt eine hochgradige Aufhellung der Knochensubstanz erkennen, ja manchmal ein völliges Fehlen derselben. In manchen Fällen erscheinen die Knochen an ihren Rändern gleichsam abgenagt und zerfasert, in manchen können wir auch Synostosen benachbarter Körper konstatieren.

Selbst die kalten Abszesse sind bildlich darzustellen, und wie wir bereits im allgemeinen Teil erwähnten, gelingt es uns sogar, durch Jodoformglyzerininjektionen die Gänge und die Wege dieser nachzuweisen, die durch lange schmale deutliche Schattenstreifen kenntlich gemacht werden.

In Fällen, in denen die klinischen Symptome noch nicht sehr ausgesprochen sind, sind wir oft genug imstande, die Diagnose durch die Röntgenstrahlen zu sichern.

Auch die akute Osteomyelitis wäre hier zu erwähnen. Sobald wir diese diagnostiziert, sobald wir uns genau über den Sitz und die Ausdehnung orientiert haben, dann müssen wir operativ vorgehen, um den Eiter zu entleeren.

Über die Spondylitis traumatica, über die ankylosierende Entzündung der Wirbelsäule, über alle diese können wir uns mit Hilfe von Röntgenaufnahmen Aufklärung verschaffen und Aufschluß holen. Wir sehen bei der letzteren genau die Formen der Wirbel, auch die Zwischenbandscheiben, und sehen deutlich, wie sich, um Sudecks Worte zu gebrauchen, im Bogen tiefschattende Knochenspangen ausspannen, die den einen Wirbel mit seinem Nachbar wie ein Brückenbogen verbinden. Außerdem scheint auch eine Rarefikation sämtlicher Knochenteile als regelmäßiger Befund vorzuliegen.

Von großem Vorteil ist es natürlich für die einzuschlagende Therapie, Aufnahmen bei Wirbelsteifigkeiten zu machen, um zu sehen, ob es sich um wahre Ankylosen handelt oder nicht. Nur so sind wir imstande, festzustellen, ob eine orthopädische Behandlung noch Nutzen bringen kann.

Daß es auch möglich ist, bösartige Geschwülste, Karzinome, Sarkome, Gummata bezw. metastatische Prozesse solcher nachzuweisen, haben wir schon kurz erwähnt.

Gocht gelang es, bei einer Dame mit Mammakarzinom eine Metastase an den ersten drei Brustwirbeln röntgographisch darzustellen, die durch spinale Symptome vermutet wurde.

Die malignen Tumoren dokumentieren sich als runde Schatten auf den Röntgenbildern und sind oft, wie Sudeck erst kürzlich wieder hervorgehoben hat, differentialdiagnostisch schwer

von kalten Abszessen zu unterscheiden. Letztere erinnern in manchen Fällen, nach den von ihm gemachten Erfahrungen, oft, dem Modus ihrer Entstehung entsprechend, an die Form eines hängenden Sackes mit einem unteren bauchigen Teil und einem manchmal streifenförmig ausgezogenen Halsteil.

Auch bei der Erkennung und Messung von Skoliosen können wir die Röntgenstrahlen verwenden. Wir haben schon auf dem Chirurgen-Kongreß im Jahre 1897 hervorgehoben, daß sich der Grad der Skoliosenverkrümmung nicht nur feststellen läßt, sondern auch die Torsion der Wirbelkörper. Der Grad der skoliotischen Verkrümmung steht sehr oft in einem großen Mißverhältnis zu der Deviation der Dornfortsätze. Auch für die Behandlungserfolge sind die Röntgenstrahlen von Wert. Wir haben damals schon zwei Bilder demonstriert, auf denen deutlich zu sehen war, daß die ursprüngliche Skoliose geschwunden war. Die Wirbelsäule verlief ganz gerade und zeigte eher sogar eine leichte Krümmung nach der entgegengesetzten Seite.

Die Orientierung auf derartigen Bildern des skoliotischen Rumpfes kann man sich noch wesentlich nach Joachimsthals Vorschlag durch Einschaltung eines Fadennetzes mit Zahleneinteilung erleichtern.

Wir haben also in den Röntgenstrahlen ein ganz ausgezeichnetes Mittel, den jeweiligen Status praesens der Skoliose genau zu fixieren.

Bade läßt skoliotische Kinder vor dem Röntgenapparat Detorsionsübungen machen, um zu sehen, inwieweit überhaupt eine „Deskoliosierung" der bestehenden Skoliose möglich ist.

Daß sich manchmal die Ursache einer Skoliose unter Zuhilfenahme der Röntgenstrahlen feststellen läßt, beweist ein von Busch beschriebener Fall, bei dem der eigentümlich hohe Sitz der Skoliose, sowie die Verschiebung der Schulterblätter auffiel. Es wurde eine Röntgenaufnahme gemacht, und auf der Platte war eine Fraktur eines Dorsalwirbels deutlich nachweisbar, die jedenfalls ungefähr sechs Jahre vorher durch einen Fall aus dem Bett verursacht, aber ganz symptomlos verlaufen war. Busch empfiehlt deshalb die jedesmalige Anfertigung einer Röntgenphotographie von jeder sich neu vorstellenden Skoliose und ist der Ansicht, daß sich wohl öfters solche in der Kindheit erlittenen, symptomlos verlaufenden Infraktionen als Ursache für die bestehende Deformität entdecken lassen.

Auch wir konnten bei einem Fall von angeborener Skoliose im Röntgenbilde als Ursache der Verkrümmung einen überzähligen Wirbel finden, der in Form eines Keils zwischen dem letzten Brust- und ersten Lendenwirbel eingeschaltet war.

Auch angeborene Mißbildungen, die Spina bifida in ihren verschiedenen Graden und Abstufungen lassen im Röntgenbilde schätzenswerte Details erkennen, auf die wir hier aber nicht näher eingehen wollen, weil sie eigentlich mehr wissenschaftliches als praktisches Interesse bieten.

Schulter und obere Extremität.

Um das Schulterblatt recht deutlich auf der Röntgenplatte erscheinen zu lassen, legen wir den Patienten am besten in Rückenlage und erhalten dann die Skapula auf dem Bilde als einen dreieckigen Schatten, der sich scharf von den Rippenkonturen abhebt und an dem die einzelnen Abschnitte deutlich zu erkennen sind.

Von den in Betracht kommenden Affektionen möchten wir zunächst den angeborenen Hochstand des Schulterblattes erwähnen, eine Deformität, über die gerade in der letzten Zeit viel geschrieben worden ist und deren Verhältnisse sich sehr instruktiv auf dem Röntgenbilde gestalten. Die Skiagramme liefern uns nicht nur den einwandfreiesten Nachweis für die Unabhängigkeit der Verschiebung von einer entsprechenden Wirbelsäulenverkrümmung, sondern orientieren uns auch genau über den Grad der Deformität und die Irrtümlichkeit in der dem klinischen Bilde nach naheliegenden Annahme einer Exostosenbildung.

Weiter kommen für die Röntgenstrahlen die Frakturen der Skapula in Betracht. Eine exakte Diagnose ist bei der Mannigfaltigkeit der hierhergehörigen Frakturformen nicht leicht, zumal wenn noch starke Blutergüsse und Schwellungen vorhanden sind. Die Röntgenstrahlen sind uns auch hier wieder zu einem nie versagenden Hilfsmittel geworden und zeigen uns deutlich die Art und den Sitz einer etwa vorhandenen Fraktur, mag sie nun den Körper, den Winkel, den Hals, das Akromion, den Processus coracoideus oder die Gelenkfläche betreffen, mag es sich um eine Fissur oder Fraktur ohne und mit Dislokation handeln. Selbst die schwer zu diagnostizierenden Längs- und Doppelfrakturen können uns heutzutage hinsichtlich der Diagnose keine Schwierigkeiten mehr bieten, auch wenn alle sonstigen charakteristischen Symptome fehlen sollten.

Namentlich bei Frakturen des Gelenkteils, bei Absprengungen einzelner Randstücke können uns die Röntgenstrahlen nicht nur im Hinblick auf die Diagnose, sondern auch im Hinblick auf die Therapie wesentliche Dienste leisten. Wir erinnern nur an die Abquetschungen des ganzen Gelenkteils. Wie oft sind diese mit Luxationen verwechselt worden! Eine genaue Diagnose ist bei diesen eigentlich nur durch das Skiagramm möglich.

Auf einen Befund bei den Schulterbildern möchten wir noch aufmerksam machen, der namentlich, wie Kümmell und Beck

bereits hervorgehoben haben, in der ersten Zeit der Röntgenära wiederhölt zu Irrtümern Veranlassung gegeben hat. Es ist dies der oft auffallend große Spalt im Acromio-Clavicular-gelenk, wie er des öftern bei ganz normalen Verhältnissen beobachtet werden kann.

Weiter kämen dann in Frage die Schlußfrakturen, die Tumoren und andere Erkrankungen des Schulterblattes, die sich auch im Röntgenbilde deutlich darstellen lassen und über die wir schon im allgemeinen Teil gesprochen haben.

Das Schultergelenk ist, wie Beck treffend bemerkt, schon seit Alters her eine wahre Crux medicorum gewesen. Wie schwer es oft ist, namentlich bei geschwollener Umgebung in gewissen Fällen eine Diagnose zu stellen, das hat selbst der beste Chirurg schon erfahren müssen. Oft wird auch schon jede genauere Untersuchung von vornherein erschwert bezw. ganz illusorisch gemacht, wenn es sich um empfindliche Patienten handelt, ja selbst kräftige und weniger empfindliche setzen unbewußt bei der stets vorhandenen heftigen Schmerzhaftigkeit der Untersuchung immer einen gewissen Widerstand entgegen und spannen unbewußt die Muskulatur an.

Wieviel verschiedene Verletzungen kommen hier in Frage und wie unschlüssig und ratlos standen wir früher diesen gegenüber. Es war oft nur möglich, Wahrscheinlichkeitsdiagnosen zu stellen. Daß so die Therapie des öftern nicht immer die richtige sein konnte, das liegt wohl klar auf der Hand. Steifigkeiten und Ankylosierungen im Gelenk, erhebliche Funktionsstörungen der ganzen Extremität waren natürlich die unausbleiblichen Folgen.

Heute ist das anders geworden. Eine Aufnahme genügt, um uns genaue Auskunft zu geben, ohne auch nur dem Patienten die geringsten Schmerzen zu verursachen.

Wir sehen zunächst, ob es sich um Frakturen oder Luxationen handelt, wir sehen den genauen Sitz und können auch an der Hand des Röntgenbildes die Therapie bestimmen.

Unter den Frakturen am oberen Humerusende, die vor der Entdeckung der Röntgenstrahlen schwer, manchmal überhaupt nicht zu diagnostizieren waren, sind vor allen Dingen zu erwähnen die Absprengung des Tuberkulum majus, eine Fraktur, die garnicht so selten zu sein scheint, wie man früher annehmen zu müssen glaubte, sodann die eingekeilten Brüche im anatomischen Halse, da diese ohne charakteristische Symptome einherzugehen pflegen.

Jacob konnte stets, wenn die Kontusion einer Schulter mit einer „traumatischen Periarthritis" sich komplizierte, auf skiagraphischem Wege nachweisen, daß eine Fraktur des Tuberkulum majus humeri vorlag. Diese Art Frakturen, die häufig nur

erkennbar sind, wenn die Bilder beider Schuldern genau miteinander verglichen werden, nennt er „Fractures parcellaires“.

Sie zeigen nur geringe Dislokation, entstehen, wenn die Schulter bei einem Sturz direkt auf den Boden schlägt, und ihre Existenz ist wahrscheinlich, wenn ein besonders schmerzhafter Punkt des Akromions zu konstatieren ist und ein Hämatom an der Außenseite der Schulter besteht. Näheren Aufschluß wird uns natürlich immer erst das Röntgenbild bringen können.

Auch die gleichzeitige Luxation des frakturierten Gelenkkopfes bietet große Schwierigkeiten; nur in den Fällen, die ganz frisch in die Hand des Arztes kommen, läßt sich mit Hilfe der alten Untersuchungsmethoden die Diagnose stellen. Sobald aber Schwellung auftritt, ist es unmöglich, zumal da ja durch Muskelzug das untere Fragment in die Cavitas glenoidalis gezogen werden kann und dadurch die Pfanne ausgefüllt erscheint.

Epiphysenfrakturen bei Kindern, deren Symptome hie und da keine beträchtlichen sind, bei denen die Dislokation oft sehr gering, die Schulterwölbung erhalten sein kann, da ja der Gelenkkopf an normaler Stelle bleibt, können, wenn wir uns der Röntgenstrahlen bedienen, nicht mehr falsch gedeutet werden, ein Vorteil, der garnicht hoch genug angeschlagen werden kann, wenn wir bedenken, daß doch schon, wenn auch die Prognose im großen und ganzen eine ziemlich günstige ist, Fälle genug eingetreten und beobachtet sind, in denen eine Heilung mit Dislokation erfolgte, infolgedessen beträchtliche Wachstumsstörungen und starke Verkürzungen zurückbleiben konnten.

Haben wir die Diagnose bei derartigen Fällen mit Hilfe der Röntgenstrahlen festgestellt, so ist es unsere nächste Aufgabe, die bestehende Dislokation zu beseitigen, und wir sollen selbst nicht vor einem blutigen Eingriff zurückschrecken, sobald uns das Röntgenbild klar gemacht hat, daß uns dies auf andere Weise nicht möglich ist.

Auch Brüche hinter der Cavitas glenoidalis sind nicht so selten, wie man vor der Röntgenära annahm. Dieselben kommen, ebenso wie die Frakturen des Tuberculum majus häufig als Komplikationen bei hohem Knochenbruch des Oberarms bezw. bei Luxationen desselben vor.

Daß auch selbst veraltete Luxationen noch Schwierigkeiten hinsichtlich der Diagnose machen können, wenn auch keine Schwellung mehr das Gebiet verdeckt, darauf hat schon Schreiber hingewiesen, der dringend rät, bei jeder, auch bereits diagnostizierten, veralteten Luxation eine Röntgenaufnahme zu machen, um über eventuelle Exostosen, Absprengungen etc. genau unterrichtet

zu sein, die unter Umständen bei vorgenommenen Repositionsversuchen Gefäße und Nerven gefährden können. Dringende Vorsicht und Individualisierung erscheint deshalb am Platze.

Bei habituellen Luxationen, für deren Zustandekommen man früher im wesentlichen die Gelenkweichteile verantwortlich zu machen pflegte, können auch die knöchernen Gelenkenden beteiligt sein, was wohl zur Genüge aus einer im Jahre 1898 erschienenen Veröffentlichung Frankes hervorgeht, der bei 18 Fällen 16 mal Defekte von größerer oder geringerer Ausdehnung an den Gelenkenden feststellen konnte. Auch die von Wendel aus der Marburger Klinik veröffentlichten drei Fälle von habitueller Schulterluxation wiesen sämtlich einen Knochendefekt auf, der von wesentlicher Bedeutung für das Zustandekommen der Reluxationen sein mußte.

Somit können wir auch diese Art von Luxationen in das Gebiet unserer Betrachtungen hineinziehen. Wir werden in manchen Fällen den Grund mit Hülfe der Röntgenstrahlen für diese ausfindig machen können, und so wird uns der Weg zum operativen Handeln gewiesen. Abrisse des Tuberculum majus, Veränderungen an den Gelenkenden, die sowohl Humerus, Kopf und Pfanne betreffen können, abgesprengte Stücke, wenn sie auch noch so klein, sind des öftern schon als freie oder gestielte Gelenkkörper nachgewiesen.

Des weiteren kommen in Betracht die Geschwülste, namentlich die bösartigen, und von diesen in erster Linie die Sarkome, deren Symptome anfangs nur in geringen unbestimmten Schmerzen bestehen können, so daß Fehldiagnosen nicht zu den Unmöglichkeiten gehören und gewiß schon manch' ein beginnendes Sarkom als rheumatische Erkrankung angesehen wurde. Von wie großem Nutzen für den Patienten die Frühdiagnose „Sarkom" ist, das bedarf ja eigentlich nicht eines Wortes der Erwähnung.

Auch für die Schultergelenkserkrankungen, namentlich für diejenigen tuberkulöser Natur, sind die Röntgendurchleuchtungen von großem Wert. Wir haben schon im allgemeinen Teil darüber gesprochen und würden uns hier nur wiederholen, wollten wir des näheren darauf eingehen. Bei den leisesten Bewegungsstörungen, verbunden mit andauernden Schmerzen, sollten wir deshalb nie versäumen, eine Röntgenaufnahme der betreffenden Schulter zu machen, die in vielen Fällen die Diagnose sichern und somit auch Anhaltepunkte für eine erfolgreiche und zweckmäßige Therapie geben kann.

Gehen wir nun zu den Frakturen des Humerusschaftes über.

Wenn diese auch ohne Zuhilfenahme der Röntgenstrahlen zu

diagnostizieren sind, so sollten wir selbst hierbei diese neue Untersuchungsmethode nicht ganz bei Seite schieben. Oft genug wird sie uns Aufschluß geben über die genaueren Details der Brüche, über ihre Neigung zur Dislokation u. dergl. m., vor allem aber wird sie uns ein treuer Helfer und Ratgeber sein während der Behandlung und wird manche Deformität erkennen lassen, die nur zu leicht dem palpierenden Finger entgehen konnte.

Bei Nervenverletzungen, die ja bekanntermaßen gerade häufig im Gefolge von Humerusfrakturen beobachtet werden an der Stelle hauptsächlich, an der der Radialis dem Knochen dicht anliegt und spiralförmig umkreist, kann uns das Röntgenbild oft den Grund für die bestehenden Lähmungen erkennen lassen. Wir sehen Knochenkanten, die den Nerv anspießen bezw. über die der Nerv abgeknickt sein kann, wir sehen derbe und starke Kallusmassen, die auf den Nerv drücken können, und wir können so helfend eingreifen und die veranlassenden Momente entfernen.

Ferner kann uns bei den am Humerus häufiger vorkommenden Pseudarthrosen die Durchleuchtung über die Details des anotomischen Verhaltens und die eventuellen Ursachen gut Aufschluß und bei deform geheilten Frakturen des Schaftes, deren Folgen oft ziemlich erhebliche sind und schwere Funktionsstörungen veranlassen können, Anleitung geben, wie man am besten alledem auf operativem Wege abhelfen kann.

Auch die Osteomyelitis, bei der es ja vor allen Dingen darauf ankommt, möglichst schnell einzugreifen, erkennen wir durch die Röntgenstrahlen schon frühzeitig genug an den Röhrenknochen der oberen Extremität.

Von den Tumoren sind es auch hier wieder vor allem die Sarkome, die mit ihrer schlechten Prognose in Frage kommen. Sie haben ihren Sitz meist am oberen Ende, seltener in der Mitte der Diaphyse und am seltensten am unteren Ende des Humerus und können als myelogene bezw. periostale unterschieden werden, von denen ja erstere bekanntlich als relativ gutartig angesehen werden können. Sie können nach Schreiber den Eindruck von Periostitis, Osteomyelitis und Tuberkulose machen. Vor allen Dingen werden die Fälle große diagnostische Schwierigkeiten bereiten, bei denen das benachbarte Gelenk frühzeitig mitaffiziert ist.

Bei keinem andern Gelenk sind die Frakturen und Luxationen so verschieden, so mannigfaltig und so zahlreich, als gerade beim Ellenbogengelenk. Es würde uns zu weit führen und den Rahmen dieser Arbeit weit überschreiten, wollten wir alle die Frakturen und Luxationen, die hier vorkommen können und beobachtet sind, einzeln aufführen und besprechen. Wie schwer sind

oft die Symptome der einzelnen Arten auseinander zu halten und wie wichtig ist doch wieder eine richtige und exakte Diagnose für die einzuleitende Therapie!

Wir erinnern hier nur an die Absprengungen, an die T-Frakturen, an die Infraktionen, an die Brüche des unteren Humerusendes, die oft genug Veranlassung gaben zu Verwechselungen mit Luxationen der Vorderarmknochen nach hinten, wir erinnern ferner an die verschiedenen Frakturen des Olekranon und des Radius, an die verschiedenen Luxationen der einzelnen Knochen; sie alle zu erkennen und genau zu diagnostizieren sind wir heute mit Hilfe der Röntgenstrahlen imstande.

Jedoch auch hier sind Irrtümer manchem nicht erspart geblieben, und bevor man an die Deutung von pathologischen Röntgenbildern dieser Gegend herangeht, sollte man sich erst genau orientieren über die normalen Verhältnisse, und zwar über die normalen Verhältnisse in den verschiedenen Lebensaltern, denn die Röntgenbilder des kindlichen Gelenkes sind von denen des Erwachsenen infolge der unvollendeten Ossifikation der Epiphysen sehr verschieden. Gerade betreffs der Olekranon-Frakturen ist dies von größter Wichtigkeit, da uns sonst Täuschungen nicht erspart bleiben.

Wir finden einen Knochenkern innen am Capitulum humeri zwischen dem zweiten und dritten Lebensjahre, einen weiteren im inneren Kondylus im fünften, einen in der Trochlea zwischen dem elften und zwölften Jahre und einen vierten im äußeren Epikondylus. Der Nukleus des inneren Epikondylus vereinigt sich mit der Diaphyse zwischen dem sechzehnten und zwanzigsten Lebensjahr; die drei andern jedoch verknöchern unter sich selbst im siebzehnten Lebensjahr und erzeugen dann die gesamte knöcherne Epiphyse, welche ihre Knochenverbindung mit der Diaphyse um das zwanzigste Lebensjahr vollendet.

Bei sehr jungen Kindern erscheint die Eminentia capitata als völlig vom Humerus gelöst.

Die Epiphysen der Trochlea sowohl als des Olekranons verknöchern zwischen dem siebenten und zwölften Lebensjahr.

Alle diese Verhältnisse muß man, wie gesagt, genau kennen, wenn anders man nicht Gefahr laufen will, Frakturen auf den Röntgenbildern zu diagnostizieren, wo gar keine sind.

Gründe für die habituellen Luxationen des Radiusköpfchens gleichwie beim Schultergelenk, Erkrankungen des Gelenkes, namentlich solcher tuberkulöser Natur, lassen sich mit Hilfe der Röntgenstrahlen nachweisen, desgleichen können wir uns auch orientieren über das Vorhandensein und die Art und Größe von freien Gelenkkörpern, die ja gerade auch in diesem Gelenk häufig genug vorkommen.

Wenden wir uns weiter zu den Frakturen der Vorderarmknochen, bei denen eine gute Adaptierung der Fragmente von besonderer Wichtigkeit für die spätere Funktion ist. Wir können hierbei nicht oft genug mit den Röntgenstrahlen kontrollieren, wie die Fragmente liegen, und wir dürfen nicht eher ruhen, bis dieselben so aneinander liegen, daß eine Funktionsstörung nicht mehr zu fürchten ist. Gelingt es uns nicht, eine erhebliche Deformität auszugleichen, dann müssen wir die Silberdrahtnaht in Anwendung bringen.

Starke Kallusmassen oder gar Synostosen zwischen Radius und Ulna können Schuld an einer Aufhebung der Pro- und Supination sein. Solche und ähnliche Ursachen zu erkennen, dürfte heute nicht mehr schwer fallen. Mitunter gibt auch der Befund den Grund für die behinderte Beweglichkeit ab, daß manche Frakturheilung in starker Pronationsstellung der Hand und des unteren Fragmentes zustande kommt, während das obere Fragment in Supinationsstellung steht. Alle diese Ursachen führt uns das Röntgenbild klar vor Augen und gibt uns sogleich auch damit den Weg, den wir zu gehen haben, um normale Beweglichkeit wiederherzustellen.

Das Hauptkontingent von allen Vorderarmfrakturen stellen die Radiusbrüche dar. Das Röntgenbild gibt uns die Aufklärung über die häufige Mitverletzung der Ulna. Beck hat zuerst darauf aufmerksam gemacht: er konnte unter 104 Fällen 21mal eine Mitverletzung der Ulna feststellen. Es kann sich dabei nur um reine Fissuren handeln, oft aber auch werden Absprengungen des Processus styloideus beobachtet. Die Größe des abgebrochenen Stückes schwankt zwischen kleinen, kaum erkenntlichen Splittern und Stücken von etwa Bohnengröße.

Daß es oft nötig ist, um Frakturen nicht zu übersehen, Aufnahmen in Pro- und Supinationsstellungen zu machen, daß uns oft eine zweite Aufnahme von der anderen Seite eine Deformität erkennen läßt, die auf dem ersten Bilde nicht zutage trat, soll nicht unerwähnt bleiben.

Vor allen Dingen kommen hier auch die kleinen vom Radius abgesprengten Knochenstückchen in Betracht, die, wenn sie sich auf der dorsalen oder palmaren Fläche losgelöst haben, kaum oder garnicht auf dem Röntgenbilde erscheinen, wenn dasselbe bei aufliegendem Handteller oder Handrücken genommen wird, da der dicke Knochenschatten des Radius dieselben verdeckt. Sie werden aber sofort sichtbar, wenn wir eine Aufnahme von der anderen Seite machen.

Von großer prognostischer Bedeutung ist auch noch eine andere Mitverletzung bei diesen Speichenbrüchen, auf die wir über-

haupt erst durch die Röntgenstrahlen aufmerksam gemacht worden sind, wir meinen die Fraktur einzelner Karpalknochen.

Nach Gocht und Kahleyß scheint am meisten das Os lunatum befallen zu sein, eine Annahme, die Beck nicht bestätigt fand; er konnte viel öfter einen Querbruch des Os skaphoideum nachweisen.

Wie wichtig eine derartige Diagnose für die Therapie ist, das beweisen am besten die versteiften Handgelenke nach derartigen Frakturen, die nicht erkannt wurden. Wollen wir diese Ankylosierungen vermeiden, dann sollen wir zunächst mit Hilfe der Röntgenstrahlen die Diagnose sichern, und handelt es sich dann um eine Mitverletzung der Karpalknochen, jede lange Ruhigstellung möglichst vermeiden und früh genug mit Massage und Bewegungen beginnen.

Die Röntgendurchleuchtung ist also nicht nur für die Diagnose wichtig, sondern sie hat auch einen großen praktischen Wert für die Therapie. Anders werden wir bloße Fissuren behandeln, anders wirkliche Brüche am Radiusende, anders wieder solche mit Nebenverletzungen, wie wir sie beschrieben haben. Handelt es sich um stärkere Dislokationen, dann müssen wir diese in erster Linie am besten unter Kontrolle der Röntgenstrahlen zu beseitigen suchen, die auch fortgesetzt und wiederholt werden muß, wenn der Verband angelegt ist. Oft genug müssen wir noch eingreifen und zu korrigieren suchen. Wenn wir so verfahren, dann glaube ich, werden die Osteotomien wegen schlecht geheilter Fraktur bald ganz von der Bildfläche verschwinden.

Die Frakturen und Luxationen der Karpalknochen können auch isoliert vorkommen und lassen sich natürlich auch leicht heutzutage diagnostizieren, während das früher nicht der Fall war.

Die isolierte Fraktur sehen wir am öftesten am Os pisiforme und skaphoideum. Auch jeder andere Karpalknochen kann natürlich zumal durch direkte Gewalt getroffen werden.

Die isolierten Luxationen dieser Knochen gehören ohne allen Zweifel zu den seltensten traumatischen Luxationen. Dupuytren und Andere behaupteten, daß sie überhaupt nicht vorkämen. Daß sie früher so selten beobachtet wurden, mag wohl daran gelegen haben, daß ihre Diagnose im höchsten Grade unsicher war; daß sie aber sicherlich vorkommen, das beweisen am besten die von allen Seiten sich mehrenden Beobachtungen.

Wir unterscheiden bei ihnen solche von einzelnen Handwurzelknochen und solche der ganzen proximalen bezw. distalen Reihe. Von den Knochen der proximalen Reihe finden wir nach

Oberst das Os lunatum am häufigsten luxiert und fast immer nach der Vola zu; jedoch sind auch ganz vereinzelte Fälle beobachtet worden, in denen die Luxation nach dem Dorsum erfolgte. Bedeutend seltener sind die Luxationen des Os naviculare und Os triquetrum, die nach dem Dorsum und nach der Vola hin luxieren können.

Auch Luxationen des Os pisiforme und der übrigen Handwurzelknochen sind, wenn auch nur vereinzelt, beobachtet und beschrieben worden.

Durch das Röntgenverfahren wird erst meist eine sichere Diagnose gestellt werden können, und wir werden dann den Versuch machen müssen, sofort den luxierten Knochen zu reponieren. Gelingt es nicht — und das ist hauptsächlich in allen den Fällen zu konstatieren, in denen zu spät die Diagnose gestellt wurde —, dann bleibt nur die Exstirpation des betreffenden Karpalknochens über, zumal wenn dieser durch Druck auf die Nerven oder sonstwie irgendwelche größere Beschwerden macht.

In die Frakturen der Metakarpalknochen, die auch bis zum Beginn der Röntgenära als verhälnismäßig selten angesehen wurden, hat diese neue Untersuchungsmethode auch mehr Licht gebracht. Dieselben kommen vorzugsweise bei Erwachsenen vor und betreffen meist den zweiten und fünften Metarkarpus und in außerordentlich typischer Weise den des Daumens. Letzterer hat Bennett besonders seine Aufmerksamkeit geschenkt. Es handelt sich immer um eine Schrägfraktur, welche die volare Hälfte der proximalen Gelenkfläche des Daumenmetakarpus von dem übrigen Metakarpus trennt. Das abgebrochene Stückchen kann mitunter sehr klein sein, so daß oft eine Diagnose unmöglich ist, wie es auch in einem von uns beobachteten Fall war, bei dem erst die Röntgenplatte Klarheit brachte, auf der sich deutlich die seltene Frakturform unsern Augen präsentierte. Ohne Röntgenstrahlen hätten wir uns jedenfalls mit der Diagnose „Verstauchung“ begnügen müssen.

Auch bei den vollständigen und unvollständigen Luxationen des Daumens und der übrigen Finger, auch bei den Brüchen der Phalangen, deren Diagnose ja allerdings sehr leicht ist, können uns die Röntgenstrahlen dessenungeachtet noch oft genug gute Dienste leisten.

Von den Erkrankungen des Handgelenks und der einzelnen Knochen muß auch hier wieder an erster Stelle die Tuberkulose genannt werden. Manches ist durch die Röntgenstrahlen hier erst geklärt worden.

So haben uns z. B. diese gezeigt, daß es sich bei den sogenannten Trommelschlägelfingern mehr um eine Verdickung der

Weichteile handelt. Die Knochen erscheinen ganz normal, höchstens waren sie etwas durchlässiger und atrophisch. Erst bei fortgeschrittener Erkrankung finden wir die Kuppen der Endphalangen pilzartig verdickt.

Bei der Spina ventosa, die wir schon im allgemeinen Teil berührten, können wir durch die Röntgenstrahlen genau Aufschluß erhalten, ob es sich um die periostale oder um die zentrale Form dieses Leidens handelt. Auf Grund der Palpation dies früher zu konstatieren, war einfach unmöglich.

Bei der periostalen Form sind Kortikalis und Spongiosa unverändert; die Verdickung, die man fühlen kann, rührt lediglich von dem ossifizierten Periost her.

Anders steht es mit der zentralen Form, bei der das Periost nicht mitbeteiligt ist, und bei der es sich um eine ziemlich gleichmäßige Verdickung des Knochens handelt. Die Kortikalis ist bei dieser Form verdünnt, ja man trifft sie oft so dünn an, daß sie im Röntgenbilde nur durch eine feine dunklere Linie markiert ist. Die Spongiosa erscheint etwas heller als normal.

Bei beiden Formen ist natürlich auch die Therapie eine verschiedene, und deshalb ist es von großer Wichtigkeit, sogleich zu erkennen, um welche Art der Erkrankung es sich handelt.

Zum Schluß dieses Kapitels wollen wir nun noch mit kurzen Worten auf die Mißbildungen der oberen Extremität zu sprechen kommen, von denen wir schon weiter oben den angeborenen Hochstand des Schulterblatts erwähnt haben, auf ein Gebiet, um das sich Joachimsthal große Verdienste durch Veröffentlichung aller von ihm beobachteten Fälle erworben hat. Daß uns bei diesen die Röntgenstrahlen oft mehr von Nutzen sein und mehr Aufklärung verschaffen können, als selbst das anatomische Präparat, das haben wir schon im allgemeinen Teil erwähnt.

An erster Stelle stehen hier die kongenitalen Defekte der langen Röhrenknochen, die Defekte des Humerus, des Radius, der Ulna. Die Röntgenstrahlen lassen die partiellen von den totalen gut unterscheiden und zeigen uns auch in gewissen Fällen, ob etwa noch mit einer Operation dem Patienten geholfen werden kann und bejahendenfalls, wie dieselbe am besten auszuführen ist.

Über fötale Amputationen, über Defekte einzelner Finger und entsprechender Teile der Hand, über die verschiedenen Deformitäten der Finger kann uns die Röntgendurchleuchtug oft wertvolle Aufschlüsse geben. Diese anzuwenden, sollten wir vor allen Dingen nicht versäumen in den Fällen von Polydaktylie, in denen wir operieren wollen. Ein Blick auf die betreffenden Skiagramme

unterrichtet uns mit vollster Klarheit über die Art und Weise der Verbindung der zu entfernenden Teile.

Nach Joachimsthal liegt der praktische Wert der in dem Falle von Syndaktylie gepaart mit Polydaktylie erhaltenen Ergebnisse in dem Nachweis der Möglichkeit der Einschaltung eines überzähligen, der klinischen Untersuchung sich entziehenden Fingers resp. einer überzähligen Fingeranlage. Die Berücksichtigung einer solchen Möglichkeit, die man eventuell vorher durch Anwendung der Röntgenstrahlen ausschließen kann, wird bei der Ausführung einschlägiger Operationen vor unangenehmen Überraschungen bewahren.

Becken und untere Extremität.

Da jede Lageveränderung des Objektes und ebenso jede Verschiebung der Röhre ganz charakteristische Veränderungen am Projektionsbild des Beckens sowohl als des koxalen Femurendes hervorrufen kann, muß man mit den normalen Verhältnissen sich sehr vertraut machen, wenn man nicht Gefahr laufen will, da anormale Verhältnisse zu konstatieren, wo gar keine sind. Umsomehr konnten wir es wohl mit Freuden begrüßen, wenn sich Hofmeister der Mühe unterzog, das normale Becken und Hüftgelenk systematisch zu röntgographieren. Er hat uns mit seinen Studien einen zuverlässigen Wegweiser zur Unterscheidung von pathologischer Abnormität und Kunstprodukt gegeben.

Hofmeister verlangt, daß bei jeder Beckenaufnahme, um dieselbe voll verwertbar zu machen, die Lageverhältnisse von Lampe, Objekt und Platte genau angegeben sein müssen. Der senkrecht unter der Antikathode gelegene Punkt soll auf dem Bilde markiert sein.

Um eine möglichst gleichmäßige Darstellung sämtlicher Teile des Beckens zu erhalten, empfiehlt er am meisten die Rückenlage mit Einstellung der Lampe nach abwärts von der Linea intertrochanterica, da bei dieser Anordnung namentlich auch das Kreuzbein, sowie die Pfannensynchondrose und die obere Hälfte der Hüftgelenksspalte vorteilhaft herauskommt.

Soll die Aufnahme Schlüsse auf die Gestalt des Beckens gestatten, so muß dasselbe absolut gerade liegen, insbesondere muß jede Rotation vermieden werden. Hüftkonfrakturen dürfen nicht kompensiert werden.

Um eine verwertbare Projektionsfigur der Schenkelhalspartie zu erhalten, muß man für gerade oder leicht einwärts rotierte Stellung des Femur Sorge tragen.

Walter hält für die zweckmäßigste Lage bei Hüftgelenksaufnahmen diejenige, bei der die Person mit der betreffenden Körperseite schräg rücklings auf die Platte gelegt wird, sodaß ihre Frontallinie etwa einen Winkel von 30 Grad mit der letzteren bildet, während zugleich das betreffende Bein im Hüftgelenk selbst möglichst nach innen gedreht werden muß.

Durch diese Drehung kommt nach Walters Ausführungen der Trochanter major nach vorn, was zur Folge hat, daß derselbe

mit Hals und Kopf des Oberschenkelknochens sowie mit der hinteren Fläche des Darmbeins nahezu in dieselbe Ebene gebracht wird, sodaß dadurch nicht blos für den Körper eine gute Stütze geschaffen, sondern vor allem auch die Möglichkeit erreicht wird, das Gelenk selbst auf wenige Zentimeter an die Platte heranzubringen. Es ist dies eine Lage, die sicherlich ihre großen Vorteile bietet, auf der andern Seite aber auch den nicht zu unterschätzenden Nachteil, daß es uns bei dieser Stellung nicht möglich ist, auch das andere Hüftgelenk zur Kontrolle gleichzeitig mit zu photographieren. Wie wichtig aber gerade dies ist, das werden wir noch später sehen.*)

Zunächst können uns die Röntgenstrahlen gute Dienste leisten bei Frakturen des Beckens und Neubildungen, die vom knöchernen Beckenring ausgehen. Von letzteren wären die Exostosen, Enchondrome und vor allem die Sarcome zu erwähnen, die wohl am häufigsten zur klinischen Beobachtung kommen. Auch Karzinome können sich, freilich nur als Metastasen, in den Beckenknochen entwickeln.

Es versteht sich wohl von selbst, daß uns auch bei der Diagnose und Behandlung der Frakturen und Luxationen in der Hüfte das Röntgenbild oft die beste Aufklärung über die vorliegende Verletzung geben wird, und wir können Pels-Leusden darin zustimmen, daß trotz aller Schwierigkeiten und gelegentlichen Mißerfolge uns hierbei das Röntgenverfahren ein liebes und fast unentbehrliches Hilfsmittel geworden ist, vermögen wir doch dadurch in kürzerer Zeit und in der für den Patienten schonendsten Form eine Diagnose über den genauen Sitz einer Fraktur zu stellen, wie es in dieser Exaktheit auch unter Anwendung der ingeniösesten Untersuchungsmethoden im Bereich des Hüftgelenks nicht möglich war.

Alles, was wir bereits an anderen Stellen über die Frakturen und Luxationen gesagt haben, gilt natürlich auch für die Hüfte. Nur möchten wir noch auf einige Verletzungen aufmerksam machen, über die wir erst durch die Röntgenstrahlen näheren Aufschluß bekommen haben.

Es ist dies in erster Linie die isolierte Fraktur des Trochanter maior oder im jugendlichen Alter die Abtrennung dieses in seiner Epiphysenlinie, beides Verletzungen, die früher, vor der Entdeckung der Röntgenstrahlen, außerordentlich selten beobachtet wurden. Erst in letzter Zeit haben sich die Beobachtungen gemehrt. Die straffe Spannung der umgebenden Weichteile, die in den meisten Fällen vorhandene starke Schwellung machen oft eine Palpation des abgebrochenen Knochenstückes unmöglich, und aus diesem Grunde sind wohl viele derartige Frakturen mit der Diagnose „Kontusion“ bezeichnet worden, weil eben alle charakteristischen Symptome, die auf eine Fraktur schließen ließen,

---

*) Weitere Winke für die Technik siehe dieses Kapitel, Teil 1.

nicht zu konstatieren waren und weil vor allen Dingen bei derartigen Verletzungen die Bewegungen der betreffenden Extremität nach allen Richtungen hin möglich sein können.

Auch Absprengungen am Pfannenrand, Frakturen, bei denen der Femurkopf durch heftigen Schlag oder Fall auf den Trochanter in die Pfanne hineingedrängt wurde und diese sprengte, wodurch die Bruchstücke in das Becken vorgetrieben werden können, sind mit Hülfe der Röntgenstrahlen heutzutage zu diagnostizieren.

Die Differentialdiagnose zwischen Kontusion, Schenkelhalsfraktur und Luxation, deren Erkennen zumal bei kräftigen Leuten außerordentlich schwierig sein konnte und deren Nichterkennen so oft schon großen Schaden angerichtet hat, ist nicht mehr schwierig, wenn wir die Röntgenaufnahme zu Hilfe nehmen, die uns auch erst gezeigt hat, daß Schenkelhalsbrüche im jugendlichen Alter doch häufiger vorzukommen pflegen, als man früher annehmen zu müssen glaubte.

Seit der Einführung des Röntgenverfahrens in der Chirurgie ist die Zahl der hierher gehörigen Fälle bedeutend gewachsen, so daß wir bei der Durchsicht der Literatur bereits 78 Fälle zusammenstellen konnten. Merkwürdigerweise konnten wir selbst zehn dieser Schenkelhalsfrakturen beobachten, deren Diagnose durch das Röntgenbild absolut sichergestellt wurde.

Unendlich viel Nutzen haben uns die Röntgenstrahlen bei der angeborenen Hüftluxation gebracht, sowohl bezüglich der Diagnose und pathologischen Anatomie, wie auch bezüglich der Behandlung und der Erfolge. Wir sind mit ihrer Hilfe leicht imstande, die Diagnose der angeborenen Verrenkung in zweifelhaften Fällen zu sichern. Wenn auch diese meist wohl ohne große Schwierigkeiten zu stellen ist, so gibt es doch noch Fälle genug, bei denen man hinsichtlich derselben im Zweifel sein kann. Dies gilt namentlich für einzelne Fälle von Schenkelhalsverbiegung, für einzelne Fälle bei Kindern, die noch nicht laufen können.

Weiter erhalten wir dann, wie Wolff bereits hervorgehoben hat, auch Aufschluß durch die Durchleuchtung über den Wert der bisher von den einzelnen Autoren aufgestellten Theorien der Entstehung, Aufschluß über den vielumstrittenen, tatsächlich aber bestehenden Unterschied zwischen der von Paci und Andern vorgenommenen Transposition des Schenkelkopfes und der von Lorenz vorgenommenen Reposition dieses an seine richtige Stelle, ferner Aufschluß über die Ursachen der bald größeren, bald geringeren Widerstände, die sich in einzelnen Fällen den Versuchen unblutiger Einrenkung entgegensetzen, und über die Ursachen, weshalb nach der gelungenen Reposition in dem einen Falle leichter, in dem

andern schwerer das Eintreten von Reluxation in die frühere fehlerhafte Stellung des Kopfes sich verhüten läßt.

Sehr wichtig ist auch die Möglichkeit, die anatomischen Verhältnisse, die ja bekanntlich bei der Luxatio coxae congenita sehr mannigfaltig und verschiedenartig sein können, unter Zuhilfenahme der Röntgenstrahlen festzustellen in allen möglichen Lebensaltern. Die Durchleuchtungsmethode gab uns hier alles, was wir brauchten, die Größe und Form der knöchernen Pfanne, ihre Tiefe, die Größe und Form des Kopfes, des Halses, den Stand des Kopfes, die Größe des Winkels zwischen Schenkelschaft und Hals, den Grad der Verbiegung des letzteren bezw. der Tersion des ganzen oberen Schenkelteils nach außen; kurz alles das, was vordem nur mit größerer oder geringerer Wahrscheinlichkeit gemutmaßt werden konnte und in ziemlich weiten Grenzen der subjektiven Deutung unterlag, wie sich Schede ausdrückt, war nun auf einmal sichtbar geworden.

Wie bereits erwähnt, können wir auch verfolgen, wie alle diese aufgezählten Veränderungen mit zunehmendem Alter auch zunehmen und immer erheblicher werden, und können so schon vorausbestimmen, ob die vorliegenden Verhältnisse für eine etwa vorzunehmende Reposition sowohl wie für die Retention noch günstig sind oder schon derartig ungünstig, daß nicht mehr die unblutige, sondern nur noch die blutige Einrenkung in Frage kommt. Wollen wir auf Grund des durch die Röntgenstrahlen geklärten Befundes die unblutige Einrenkung vornehmen, dann gibt uns dieser wieder den Wegweiser für den anzulegenden Verband, für die Dauer der Fixation u. a. m. So werden wir z. B. bei schlecht entwickeltem Hüftbeindach unser Augenmerk vor allen Dingen darauf zu richten haben, einen „exakten und den idealsten Anforderungen entsprechenden Verband“ anzulegen, der in derartigen Fällen sehr lange getragen werden muß, während er bei entgegengesetzten Verhältnissen schon früher entfernt werden kann.

Des weiteren können wir durch die Röntgenstrahlen Aufschluß erhalten über die spätere definitive anatomische Gestaltung und damit auch nach Wolff über die funktionelle Bedeutung des an der richtigen Stelle oder in der nächsten Nähe derselben nach der Reposition neugebildeten Hüftgelenkes, kurz über die Resultate unserer Behandlung. Denn nach dem Gange der Patienten können wir nicht immer urteilen, ob der Kopf in der Pfanne steht oder nicht, ob es sich also um eine wirkliche Reposition handelt oder nur um eine sogenannte Transposition; wir haben Fälle genug beobachtet, bei denen der Gang ein ausgezeichneter war, trotzdem es sich nur um eine Transposition handelte, wir haben aber auch Fälle beobachtet, bei denen es sich um eine wirkliche Reposition

handelte, trotzdem der Gang nicht ganz tadellos war. Anch die Palpation kann uns manchmal im Stich lassen, und so sind wir denn wieder lediglich auf die Röntgenstrahlen angewiesen, mit deren Hilfe wir uns genau orientieren können, noch dazu, wenn wir das stereoskopische Verfahren anwenden, das ja in einem andern Abschnitt dieses Buches beschrieben ist. Mit einem Schlage wird uns die ganze Situation, wie sie in Wirklichkeit ist, vor Angen geführt.

Wolff verlangt, daß Niemand Mitteilungen über Erfolge machen sollte, der nicht in jedem Falle durch die Röntgenstrahlen festgestellt hat, wie es in Wirklichkeit aussieht.

Wie wir soeben schon bei der Diagnosenstellung erwähnten, ist die Luxatio coxae congenita in gewissen Fällen schwer von der Coxa vara zu unterscheiden, jener Deformität, zu deren wesentlichen Klärung in den letzten Jahren die Röntgenstrahlen auch ein gut Teil beigetragen haben. Hofmeister hat sich mit diesem Krankheitsbild eingehend beschäftigt; er will für das Studium des Schenkelhalses und seiner Veränderungen immer die Bauchlage angewendet wissen, weil bei der Aufnahme in Rückenlage infolge der Stellung der Schenkelhälse dieselben gewöhnlich in starker Verkürzung projiziert werden, sodaß Teile des Kopfes und Halses sich im Bilde überlagern.

Wir können im Röntgenbilde deutlich die angeborenen Formen von den rachitischen unterscheiden und auf der anderen Seite die traumatischen Fälle diagnostizieren. Eine exakte Diagnose ist aber für unsern therapeutischen Eingriff sehr wertvoll, denn des öfteren wird z. B. eine Coxa vara rachitica dadurch vorgetäuscht, daß die Verbiegung nicht im Schenkelhals, sondern im Femur liegt.

Hofmeister hat bereits auf die hohe Bedeutung aufmerksam gemacht, die dem Röntgenverfahren nicht nur für die Diagnose dieser Erkrankung im Einzelfalle, sondern auch für die Erkenntnis des Leidens im allgemeinen zukommt, da es auch imstande ist, uns wertvolle Anhaltepunkte für die Entscheidung der Frage, wie ein eventueller Eingriff sich zu gestalten hat, zu liefern.

Wir können hier natürlich nicht näher eingehen auf die verschiedenen Operationsverfahren, die bei der Behandlung dieser Schenkelhalsverbiegung empfohlen sind, möchten sie aber doch in so weit berücksichtigen, als sie Bezug auf die Röntgendurchleuchtung haben. Hofmeister glaubt nämlich einen wesentlichen praktischen Nutzen dieser darin erblicken zu dürfen, daß sie uns eine Handhabe bietet für die annähernde Vorausberechnung des anatomischen Effektes einer geplanten Knochenoperation. Hofmeister rät, nur den betreffenden Femur aus der Kopie herauszuschneiden, an der für die Osteotomie in Aussicht genommenen Stelle zu durchtrennen und dann den Versuch der Korrektion zu machen.

Auf einen weiteren Vorteil, den uns das Skiagramm für die Ausführung der Osteotomie gewährt, weist Hofmeister dann noch

hin, daß wir nämlich am Röntgenbilde ausmessen können, wie weit unterhalb der Spitze des großen Trochanter die obere Grenze des kleinen sich befindet, wodurch wir in den Stand gesetzt sind, die Stelle, an der die Herumführung der Drahtsäge bezw. die Durchtrennung des Schenkelschaftes zu geschehen hat, genau zu bestimmen.

Daß natürlich in den Fällen, in denen die Schenkelhälse in toto viel zu kurz sind, die Keilresektion nicht in Frage kommen kann und daß schließlich für die Frage der eigentlichen Resektion das Ergebnis der Röntgenuntersuchung einen entscheidenden Einfluß haben kann, leuchtet nach Hofmeister sofort ein, wenn wir bedenken, daß uns diese in besonders schweren Fällen über das Vorhandensein vorgeschrittener sekundärer Deformationen des Kopfes, welche eine Osteotomie wenig aussichtsvoll erscheinen lassen, zu belehren vermag.

Das Ideal unserer therapeutischen Bestrebungen bei der Coxa vara soll nun aber nach des genannten Autors Ansicht nicht in der Suche nach dem besten Operationsverfahren liegen, sondern in der Frühdiagnose, die es ermöglicht, durch rationelle unblutige Maßnahmen der Entstehung schwerer Deformitäten vorzubeugen. „Das Röntgenbild ist gerade hier ein mächtiges diagnostisches Hilfsmittel, das eben gerade in den Frühstadien, die begreiflicherweise zu diagnostischen Zweifeln am meisten Anlaß geben, die Entscheidung zu bringen vermag.“ Das ist ein Satz, den wir Wort für Wort unterschreiben.

Diejenige Erkrankung des Hüftgelenks nun aber, die uns weit häufiger als die beiden erwähnten zu Gesicht kommt und bei der uns die Röntgenstrahlen auch von großem Wert sind, ist die tuberkulöse Koxitis. Wenn die Röntgenuntersuchung nach König's Ansicht zur Erkenntnis dieser Erkrankungen nicht alles das leistet und zu leisten vermag, was sie an dem freien Teil der Gliedmaßen leistet, weil die Formen der Erkrankuug öfter derartige sind, daß sie überhaupt schwer erkennbar bleiben, so geben doch vor allen Dingen die Herderkrankungen scharfe Bilder, die wir auch aus diesem Grunde vorweg nehmen wollen, Lage und Größe derselben vermögen wir deutlich zu erkennen in Gestalt von lichten Flecken, die meist durch eine dunklere Zone umgeben sind, teils aber auch ohne scharfe Grenze in die Umgebung übergehen. Diese kommen nicht nur in Knochenabschnitten vor, die innerhalb des Kapselsackes liegen, sondern wir konnten sie auch gelegentlich in paraartikulären Knochengebieten auf dem Röntgenbilde nachweisen, ein Befund, der nach König insofern von einer gewissen praktischen Wichtigkeit ist, als bei dieser die Gefahr der Gelenkerkrankungen weit geringer ist und es öfter gelingt, sie operativ zu entfernen, ohne daß sich die Tuberkulose in das Gelenk verbreitet. Als solche Stellen, die öfter extraartikulär erkranken, wenn auch ganz außerordentlich selten im Vergleich zu den intraartikulären Erkrankungsherden, sind beobachtet worden der Trochanter maior und minor, der Sitzknorren, der obere hintere Rand des Darmbeins und die Gegend der Spina anterior inferior.

Wir sollen, wenn es gilt, eine noch nicht sehr ausgesprochene Koxitis zu konstatieren, nie versäumen, beide Hüftgelenke auf eine Platte zu bringen und die beiden Gelenke mit einander zu vergleichen. Nur so dürfte es uns gelingen, selbst geringe Veränderungen, die andernfalls sicher unseren Augen entgangen wären, zu erkennen. In den Anfangsstadien, wenn die Koxitis in erster Linie die Synovialis betrifft, ist schon früh eine hochgradige Rarefizierung des Knochens auffällig, die sich durch größere Lichtdurchlässigkeit, Verwischt- und Verschwommensein der Knochenstruktur auszeichnet, besonders aber nach Manninger's an eine Reihe von Koxitisbildern gemachten Erfahrungen durch das Verschwinden der Epiphysenlinie, das nicht immer die ganze Epiphysenlinie zu betreffen braucht. Ein Teil derselben kann auch sichtbar bleiben.

Die Gelenklinie des erkrankten Gelenkes erscheint verdunkelt und verschwommen im Gegensatz zur gesunden Seite, etwas weniger scharf, die Konturen sind, wenn auch schwach erkennbar, doch glatt. Später können dann sekundäre Veränderungen am Knorpel und Knochen hinzutreten. Man sieht dann in den betreffenden Knochenteilen, besonders am Kopf, Schatten und lichtere Stellen angedeutet.

Manninger konnte auf Röntgenbildern des öftern ziemlich regelmäßig einen lichten Kegel an der Stelle des Ansatzes des Ligamentum teres feststellen. Ob es sich hierbei um ein Auffasern des Knochens durch Granulationen handelt, die meistens dies Ligament umwachsen, vermag er nicht anzugeben. Später können wir dann zottenartige Fortsätze erkennen, periostale Wucherungen, Lösungen einzelner Knochenstückchen, spontane Luxationen u. dergl. m. Ja die ursprüngliche Form des Knochens kann zum Teil und auch ganz verloren gehen.

Auch wenn die Diagnose einer Coxitis tuberculosa sicher ist, dann sollten wir doch nie versäumen, eine Röntgenaufnahme zu machen, da sie allein uns ganauen Aufschluß geben kann über die Ausdehnung des Prozesses. Daß es selbst Fälle gibt, bei denen fast nur das Röntgenbild für die Diagnose maßgebend sein kann, das beweisen mehrere von König beschriebene Fälle, bei denen dieses die Diagnose einer ostalen Hüftgelenkserkrankung stellen ließ, indem es bei vollständig freier Beweglichkeit im Hals und Trochanterteil einen Sequester zeigte, ein Befund, der natürlich bestimmend für die Behandlung war, für die Ausführung der Resektion. Diese und noch viele andere Fälle beweisen wohl zur Genüge, daß wir Aufschluß erhalten können in Fällen tuberkulöser Koxitis für unsere therapeutisches Handeln aus den Röntgenbildern. Wir können aus denselben positive Schlüsse ziehen und ersehen, ob wir in dem vorliegenden Falle noch mit konservativen Maßnahmen auskommen werden, oder ob ein operativer Eingriff dringend geboten erscheint.

Auch der nach dieser Erkrankung so häufig zurückbleibenden Deformatätsstellungen im Hüftgelenk, der Kontrakturen und Ankylosen, müssen wir gedenken. Sehr schwierig und oft ganz unmöglich, selbst wenn wir die Narkose zu Hilfe nahmen, war es früher zu ermitteln, welche Art von Ankylose in dem gegebenen Falle vorlag, eine Schwierigkeit, der wir jetzt glücklicherweise durch die Anwendung der Röntgenstrahlen vollkommen enthoben sind. Das Röntgenbild gibt uns genügend Aufschluß darüber, ob es sich um eine knöcherne oder eine fibröse Ankylose — auf die einzelnen Arten und deren Unterschiede gehen wir hier nicht näher ein — handelt oder nur um eine Kontraktur, und damit wird uns auch zugleich der Weg gewiesen, den wir bei der Behandlung einzuschlagen haben. Wir können vorher bestimmen, ob wir mit unblutigen Maßregeln zum Ziele kommen werden oder ob nur ein operativer Eingriff von Erfolg sein kann. Gleichwie bei der Behandlung der Coxa vara das Röntgenbild uns vorschrieb und zeigte, welche Operation die besten Chancen bot, so wird uns auch bei den falschen Hüftgelenksstellungen, bei den wahren Ankylosen die Operationsmethode vorgeschrieben und gewiesen, welche die beste ist, mag es sich nun um eine der verschiedenen Osteotomien, die bei derartigen Leiden empfohlen und angewandt sind, handeln oder um die Resektion.

Auch in einer Anzahl von Fällen von Osteomyelitis klärt das Röntgenbild die Knochenverhältnisse auf in ähnlicher Weise, wie wir dies bei der tuberkulösen Koxitis ausgeführt haben.

Weiter kommt dann noch die ‚Arthritis deformans in Frage, deren Knochenveränderungen deutlich auf der Platte zu sehen sind.

Gehen wir nun zu dem Schaft des Femur über, bei dem ja zunächst auch wieder in erster Linie die Frakturen berücksichtigt werden müssen. Wenn es nun auch an und für sich nicht allzu schwierig ist, die Diagnose auf derartige Frakturen zu stellen, und wenn auch die Symptome in manchen Fällen so charakteristisch sind, daß wir selbst auf den ersten Blick imstande sind, zu sagen, es handelt sich um eine Fraktur des Femur, so sollen wir trotzdem doch nie unterlassen, auch diese Verletzungen zu skiagraphieren, um genauen Aufschluß zu erhalten über den Sitz der Fraktur, den Verlauf der Bruchlinie und über die stattgefundene Dislokation, Dinge, die nicht so leicht, namentlich, wenn es sich um kräftige Männer handelt, zu bestimmen sind. Da aber diese Verhältnisse für die einzuschlagende Therapie große Wichtigkeit besitzen, muß man sich doch Rechenschaft über dieselben geben können. Dazu eignet sich am besten das Röntgenbild, das uns

genau über alle Einzelheiten orientieren kann, zumal wenn wir nicht versäumen, mehrere Aufnahmen von verschiedenen Seiten zu machen, da auch hier bei einer Aufnahme nur leicht Täuschungen vorkommen können. Es werden uns durch die Röntgenstrahlen oft Dinge vor Augen geführt, an die wir garnicht gedacht hatten, vor allen Dingen Deformitätsstellungen in Fällen, bei denen man solche sicher ausschließen zu können glaubte, wie wir erst neulich wieder zu konstatieren Gelegenheit hatten. Die Inspektion und Palpation ergaben keine Deformitätsstellung, eine Verkürzung bestand auch nicht, so daß man also annehmen mußte, es sei alles in bester Ordnung, und doch war dem nicht so. Das Bild zeigte bei dem bestehenden Spiralbruch eine Deformität, die nun noch ausgeglichen werden konnte.

Auch über den Reitknochen, jene osteomartige Bildung in den Adduktoren des Oberschenkels, können wir uns Aufschluß holen durch die Röntgenbilder. Es kann in derartigen Fällen vom Periost des Schienbeins aus zu einer Wucherung von Knochensubstanz kommen, die dem Verlauf der Adduktoren folgt. Ferner ist es möglich, daß ein durch ein Trauma abgesprengtes Knochenpartikelchen in das Muskelgewebe versprengt wird und sich hier weiter entwickelt. In der Mehrzahl der Fälle aber wird durch die fortwährenden Insulte des Reitens zunächst ein Entzündungszustand des Muskelgewebes gesetzt, der unter Zugrunderichtung dieses zur Bildung von Knochensubstanz führt, deren Vorhandensein und Ausdehnung uns genau im Röntgenbilde vorgeführt wird. Außer in den Adduktoren hat man die Reitknochen auch in den Mm. pectineus, vastus und gracilis gefunden.

Der Femur, namentlich das untere Ende, wird auch oft von der Osteomyelitis ergriffen, deren Diagnose im allgemeinen nicht schwer zu stellen ist. Aber trotzdem sind diagnostische Irrtümer nicht ganz ausgeschlossen, die mit Hilfe der Röntgenuntersuchung zu vermeiden sind.

Die regelmäßige Folge der Oberschenkel-Osteomyelitis ist das Absterben eines Teiles des erkrankten Knochens, die Sequesterbildung. Wir sehen auf den Röntgenplatten Femora, bei denen nur oberflächliche Teile der Knochenränder in Gestalt von Schalen und Platten, aber auch solche, wo größere Stücke der Kompakta und Spongiosa nekrotisch werden. Meist jedoch nekrotisiert der Knochen in seiner ganzen Dicke. Auch multiple Nekrosen des Femur haben wir nicht selten gefunden.

Ob der Sequester gelöst ist oder nicht, können wir mit Hilfe der Röntgenstrahlen unterscheiden und so die Entfernung desselben zur richtigen Zeit vornehmen, was äußerst wichtig ist, weil einer-

seits durch frühzeitiges Entfernen desselben die Knochenneubildung beschränkt werden kann und infolgedessen Pseudoarthrosen oder Spontanfrakturen entstehen können, andererseits aber durch lang andauernde Eiterung aus den Fisteln chronische Nephritis und amyloide Entartung der inneren Organe auftreten und den Tod herbeiführen können.

Besonderes Interesse verdienen auch die Deformitäten, die im Gefolge der Osteomyelitis des Femur entstehen können. Es handelt sich um eigentümliche Verbiegungen des Oberschenkels, die das obere Ende, den Schaft und das untere Ende des Femur betreffen können.

Was zunächst die Verkrümmungen am oberen Ende des Femur betrifft, so können dieselben im Schenkelhals sitzen und dann einen der Coxa vara ähnlichen Zustand hervorbringen. Weiterhin können sie eine völlige Verkrümmung des oberen Femurendes erzeugen. Häufiger scheint die osteomyelitische Verkrümmung am unteren Femurende vorzukommen.

Alle diese Fälle haben, wie uns die Röntgenbilder zeigten, etwas Charakteristisches. Es handelt sich in der Regel um winklige Abknickungen des unteren Femurendes, etwa handbreit oberhalb des Kniegelenkes, nach hinten oder auch nach innen. Es kommt in der Regel nicht zur Bildung einer Eiterung und demgemäß auch nicht zur Fistelbildung, dagegen zur Bildung zentraler Sequester, die man auf den Röntgenbildern sehr gut konstatieren kann.

Weitere Verunstaltungen des Femur können durch die Knochenneubildung erfolgen, welche mit der Bildung des Sequesters zusammenfällt. Entweder sehen wir dann den Knochen vollständig sklerosiert, oder wir finden, namentlich so lange noch im Knochen alte Abszeßhöhlen zurückgeblieben sind, mächtige geschwulstige Knochenmassen sich bilden, welche die Diaphyse keulenförmig auftreiben.

Von den Deformitäten des Oberschenkels kommen für die Röntgenstrahlen noch die rachitischen Verkrümmungen der Oberschenkeldiaphyse in Betracht, sowie die schlecht geheilten Femurfrakturen, bei denen uns die Röntgenuntersuchung einen guten Wegweiser für den Operationsplan abgeben kann.

Wir wollen hier noch einer seltenen Mißbildung, der sogenannten Phokomelie, gedenken, bei der der Oberschenkelknochen ganz fehlen oder nur rudimentär vorhanden sein kann. Wir haben dieses Thema erst jüngst in einer Arbeit behandelt und haben dabei auf den Wert der Röntgenstrahlen hingewiesen, brauchen wohl aber hier nicht näher darauf einzugehen, sondern verweisen nur auf das vorhergehende Kapitel, in dem wir schon den Wert der

Röntgenstrahlen bei den an der oberen Extremität vorkommenden Defekten erwähnt haben.

Von den Oberschenkelgeschwülsten sind durch die Röntgenstrahlen nachweisbar die zystischen Chondrofibrome, die reinen Enchondrome, die kartilaginären Exostosen, die periostalen und myelogenen Myome, die Sarkome und die Karzinome. Letztere kommen nur als Metastasen zur Beobachtung. Auch die Knochenechinokokken des Femur wären hier noch zu erwähnen.

Interessante und praktisch sehr wichtige Untersuchungen mit den Röntgenstrahlen über das Wachstum der unteren Femurepiphyse sowie über die Struktur der Femurepiphyse und ihr Verhalten zur Lokalisation der Knochenherde bei tuberkulösen Erkrankungen der Epiphyse hat in letzter Zeit Ludloff angestellt. Derartige Untersuchungen haben eine große Bedeutung zur Aufklärung dieser Fragen und verdienen auch auf andere Körperstellen übertragen zu werden.

Gehen wir nun zum Kniegelenk über, so kommen auch bei diesem zunächst wieder die Kontusionen derselben in Betracht und die Frakturen. Wie bei allen übrigen Gelenken, so können wir uns auch bei diesem Gelenk unter Heranziehung der Röntgenuntersuchung genau Aufschluß holen über die Art der Verletzung und, handelt es sich um Frakturen, über den Sitz derselben und über alles andere mehr, was wir bereits früher schon bei den übrigen Gelenken erwähnt haben.

Wie ja bekannt sein dürfte, sind alle diese Brüche binnen kurzer Zeit von einem sehr starken Bluterguß in und um das Gelenk gefolgt, wodurch notwendigerweise eine beträchtliche Weichteilsgeschwulst bedingt ist. Diese verdeckt die sonst so leicht sichtbaren Kontouren der Knochen und erschwert auch bei der Palpation die genaue Feststellung der Verletzung, die natürlich den Röntgenstrahlen nicht entgehen kann.

Auch bei den verschiedenen Gelenkerkrankungen, vor allem wieder bei den tuberkulösen, bringen uns die Röntgenstrahlen großen Nutzen. Auf den Wert derselben und auf alle Einzelheiten können wir hier nicht näher wieder eingehen, oder wir müßten bereits an anderer Stelle Gesagtes wiederholen. Für die Folgezustände dieser Gelenkerkrankungen, für die Kontrakturen und Ankylosen gilt mit Bezug auf die Röntgendurchleuchtung alles das, was wir bereits bei den gleichen Deformitäten des Hüftgelenks gesagt haben. Auch hier erhalten wir Aufschluß über den Operationsplan, über die Operationsmethode und bei einer etwa vorzunehmenden Entfernung eines keilförmigen Knochenstückes aus dem Winkel der Deformität selbst über die Größe des zu entfernen-

den Stückes, dessen Größe natürlich von dem Flexionswinkel des ankylotischen Kniegelenks abhängig ist; je größer der letztere, um so breiter muß der zu resezierende Keil sein. Forgue empfiehlt deshalb, das von einer knöchernen Ankylose gewonnene Skiagramme zu benutzen, um mittelst eines darnach angefertigten Pappmodells vor der Operation die Größe des aus dem Knochen auszuschneidenden Keiles festzustellen. Auch bei der von Helferich empfohlenen bogenförmigen Osteotomie können wir in ähnlicher Weise verfahren.

Bezüglich der Häufigkeit des Vorkommens von Gelenkmäusen steht das Kniegelenk allen anderen Gelenken voran. Wir können diese deutlich auf den Röntgenbildern sehen und finden sie in sonst gesunden Gelenken als abgelöste Teile der knorpeligen Gelenkflächen, häufiger jedoch bei der Arthritis deformans. Es können in einem Gelenk mehrere vorhanden sein, deren Größe selbst die einer Wallnuß und darüber erreichen kann. Ihr Vorhandensein wird durch die Röntgenstrahlen gesichert, zumal in Fällen, in denen es uns nicht gelingt, dieselben zu fixieren und zu palpieren. Erwähnen möchten wir an dieser Stelle noch einmal, daß sich im Kniegelenk ein normaler Schatten zeigt, der dem Sesambein des Musculus semitendinosus entspricht, den man nicht als Fremdkörper bezw. Bruchstückchen auffassen darf.

Auch hierbei ist die bereits schon einmal im allgemeinen Teil erwähnte Sauerstoffeinblasung von großem Vorteil. Es ist klar, daß wir bei der starken Distension, welcher die Weichteilgebilde des Gelenkes durch diese unterworfen sind, freie Körper bedeutend schärfer zur Darstellung bringen werden als bei gewöhnlichen Röntgenaufnahmen. Dies ist besonders dann von großer diagnostischer Bedeutung, wenn die freien Körper ungefähr dieselbe Schattenstärke im Röntgenbilde haben wie die Weichteile, also wenn die freien Körper nicht knöcherner Natur sind oder nur eine zarte Spongiosa enthalten.

Wichtiger noch als bei den freien Körpern ist die Sauerstoffeinblasung bei der gelegentlich doch nicht ganz sicheren Diagnose der Meniskusabreißung, bei der wir deutlich den abgerissenen, frei in das Gelenk hineinragenden Meniskus als deutlichen Schatten erkennen können.

Daß uns selbst bei Patellarbrüchen die Radioskopie von großem Wert sein kann, hat v. Bergmann dargetan. Man erkennt bei diesen mit Hilfe der Röntgenstrahlen drei Hindernisse, die sich einer Heilung dieser Fraktur entgegenstellen können. Das erste ist die Ungleichheit der beiden Fragmente bei den meisten Querfrakturen. Das obere Fragment ist sehr groß, das untere oft sehr

klein. Jede Aneinanderfügung muß in solchen Fällen mißlingen, wenn anders wir nicht die Silber- oder Bronze-Aluminiumnähte anwenden.

Ferner geben uns die Röntgenstrahlen Aufschluß darüber, ob nicht etwa die beiden Bruchstücke bei der Querfraktur noch weiter geteilt sind, wie es des öfteren vorzukommen pflegt, besonders an ihren Seitenwänden, oder ob sich nicht etwa kleine, von den Bruchflächen abgesprengte Knochensplitter zwischen die Fragmente geschoben haben und so eine Heilung verhindern. Sie müssen herausgenommen oder fortgeschoben werden, um die für eine knöcherne Konsolidation notwendige Zusammenfügung zu bewerkstelligen.

Auf den Platten ist dann auch ferner noch zu erkennen, wenn sich das eine Fragment, meist das untere, so um seine Querachse gedreht hat, daß die Bruchflächen sich garnicht mehr berühren, sondern die Bruchfläche des einen Fragments auf die äußere Fläche des anderen stoßen würde, wenn man sie durch die getrennte Haut zusammenschöbe. Nach v. Bergmann ist es zur genauen Koaptation immer notwendig, die Bruchstücke direkt anzufassen und zurecht zu drehen.

Zu erwähnen wären dann noch die Genua valga und vara, die rachitischen Verkrümmungen der Unterschenkel, bei denen uns die Röntgenstrahlen in mancher Hinsicht sowohl bei Erklärung wie auch bei dem Operationsplan von großem Nutzen sein können, ebenso wie bei den Tumoren, bei den gerade so häufig an der Tibia vorkommenden Knochenzysten, bei der Tuberkulose und Osteomyelitis, von denen gerade die letzteren so häufig an der Tibia beobachtet wird. Auch über den Verbleib der bei dieser Erkrankung in die Knochenhöhlen gefüllten Jodoformknochenplomben können wir durch die Röntgenstrahlen Aufschluß erhalten, wenn wir in größeren Intervallen Aufnahmen machen. Wir sehen deutlich, wie der von diesen ausgehende Schatten immer kleiner wird, um endlich spurlos zu verschwinden und durch Narben- oder Knochengewebe ersetzt zu werden.

Weiter möchten wir die Röntgenstrahlen heute nicht mehr missen bei den so häufig vorkommenden Unterschenkelbrüchen und vor allem bei den Knöchelfrakturen, bei denen allen ja die Bruchformen sehr wechselnde sein können. Die Bruchlinie kann bald an beiden Knochen fast quer verlaufen, bald schräg, bald kann sie unregelmäßig gezackt sein. Oefters ist noch ein Stück der vorderen oder hinteren Gelenkfläche der Tibia abgesprengt, seltener ein Stück an der Außenfläche der Tibia abgerissen. Auch kann das untere Fragment der Tibia häufig in mehrere Stücke zerbrochen sein, das

obere kann in das untere eingekeilt sein, oder es kann am unteren vorbei nach unten gleiten und sich auf dem Calcaneus feststemmen, kurz, die Verhältnisse bei derartigen Verletzungen können so verschiedenartig sein, daß es zu weit führen wird, sie alle einzeln auch nur kurz zu erwähnen. Sie alle können wir mit Hilfe der Röntgendurchleuchtung genau feststellen und danach auch unsere Therapie einrichten, die ja doch in erster Linie eine Heilung in tadelloser Stellung anstreben muß, um alle die erheblichen Beschwerden zu vermeiden, die so häufig bei fehlerhafter Stellung eintreten.

Bei den Unterschenkelbrüchen möchten wir noch einmal darauf hinweisen, nicht zu versäumen, zwei Aufnahmen zu machen. Gerade für die supramalleolaren Schräg- und Längsfrakturen der Tibia und Fibula, deren Bruchlinie von hinten nach vorn verläuft, ist die seitliche Aufnahme von besonderem Wert. Erst kürzlich wurden wieder in einer aus der Helferich'schen Klinik stammenden Dissertation mehrere derartige Fälle zusammengestellt und durch die beigegebenen Röntgenbilder veranschaulicht, bei denen die von vorn gemachten Aufnahmen auch nicht die geringste Veränderung am Knochen erkennen ließen, während die seitlichen Aufnahmen erst die bestehende Fraktur erkennen ließen.

Anschließend hieran möchten wir sogleich die Frakturen der Tarsalknochen erwähnen, von denen ja in erster Linie die des Talus und Calcaneus in Betracht kommen. An Häufigkeit übertreffen sie bei weitem die isolierten Frakturen der übrigen Tarsalknochen, die durch die Röntgenbilder schön veranschaulicht werden können. In leichten Fällen sind die Talusfrakturen nur schwer oder garnicht zu erkennen, sie können mit Distorsionen, Knöchelfrakturen und anderen Verletzungen verwechselt oder bei der tatsächlich nicht seltenen Komplikation mit Malleolarbrüchen ganz übersehen werden. Trotz sorgfältigster Palpation und Inspektion wird selbst der beste Chirurg nicht immer imstande sein, die sichere Diagnose zu stellen. Erst die Röntgenstrahlen vermögen völlige Klarheit über die Verletzung zu bringen. Ja, selbst die Deutung des Röntgogrammes kann gerade in diesen Fällen manchmal schwierig sein, aus welchem Grunde es sich wohl empfehlen dürfte, zum Vergleich eine Aufnahme vom gesunden Fuß zu machen.

Leichter zu erkennen sind schon die Frakturen des Calcaneus, wenigstens die sogen. Compressionsfrakturen, die ja am bekanntesten sind, bekannter wenigstens als die sogen. Rißfrakturen dieses Knochens, die weit seltener als jene sind, jedoch auch häufiger vorzukommen pflegen, als man früher annehmen zu müssen glaubte, eine Tatsache, die auch erst wieder besonders nach der Anwendung

der Röntgenphotographie zu Tage getreten ist. Wendt fand unter 24 Calcaneusfrakturen zwei, die als Rißbrüche anzusprechen waren.

Die Kontraktion der Wadenmuskulatur scheint das hauptsächlich bei der Entstehung dieser in Betracht kommende Moment zu sein, zu dem nach Wendt auch noch das Gewicht des fallenden Körpers als in der entgegengesetzten Richtung wirkende Komponente nicht unwesentlich bei der Entstehung sein dürfte.

Die Frakturlinie verläuft bei diesen Brüchen in einer den Knochenbälkchen entsprechenden Linie.

Eine sichere Diagnose ist bei diesen Tarsalbrüchen das Haupterfordernis wegen der schweren Folgen, welche diese Frakturen nach sich ziehen und die zum großen Teil der Fehldiagnose und damit natürlich auch der falschen Behandlung zur Last gelegt werden müssen.

Läßt z. B. das Röntgenbild bei der erwähnten Rißfraktur des Calcaneus eine stärkere Dislocation erkennen, so dürfte sich wohl die sofortige Knochennaht empfehlen; leichtere Fälle dagegen ohne Dislocation oder bloße Fissuren heilen unter Fixation in geeigneter Stellung, ohne Störungen zu hinterlassen.

Wie leicht man sogar normale Zustände im Bezirk dieser Knochen mißdeuten kann, darauf hat bereits Beck aufmerksam gemacht; denn es wäre nicht das erste Mal, daß das Os intermedium cruris seu Os trigonum Tarsi für ein vom Talus abgesprengtes Bruchfragment gehalten würde, jener Knochen, der nach Beck ein typischer Bestandteil des Säugetiertarsus ist und in einem Prozentsatz von sieben zu acht beobachtet wird.

Auch über Luxationen im Bereiche des Tarsus können uns die Röntgenstrahlen Aufschluß geben, in derselben Weise, wie bei den Luxationen der Carpalknochen.

Wir kommen nun zu den Frakturen der Metatarsalknochen, die viel häufiger sind, als man früher annahm. Auch hier sind es wieder die Röntgenstrahlen, die uns Aufklärung bringen können, da namentlich bei erheblicher Schwellung in frischen Fällen eine sichere Diagnose nur mit Hilfe dieser gestellt werden kann. Distorsionen, Kontusionen und entzündliche Schwellung waren die Diagnosen. Daß bei derartigen Fehldiagnosen nun auch die Behandlung, die gewöhnlich in Massage bestand, manchmal noch die Verschiebung vermehrte, liegt wohl klar auf der Hand.

Den Röntgenstrahlen verdanken wir auch die Kenntnis eines vor der Röntgenaera stets falsch gedeuteten Krankheitsbildes, das namentlich in militärärztlichen Kreisen so häufig beobachtet werden konnte, nämlich der sogenannten Fußgeschwulst oder des sogenannten Marschoedems, jener schmerzhaften Anschwellung des

Fußrückens, die bei Soldaten, namentlich nach längeren anstrengenden Märschen so oft auftrat und die man auf eine Entzündung der Sehnenscheiden, der Bänder oder auch auf eine Affektion der Tarsometatarsalgelenke zurückzuführen gewohnt war. Die Röntgenstrahlen belehrten uns aber eines besseren und zeigten uns, daß dieser Erkrankungsform fast ohne jede Ausnahme eine Fraktur eines der Metatarsalknochen zu Grunde lag. Daß mit der Erkenntnis dieser Frakturen natürlich nun auch die Therapie eine andere wurde, brauchen wir wohl nicht zu erwähnen.

Des Weiteren möchten wir noch auf eine Erkrankung hinweisen, auf die Sudeck aufmerksam machte, und die sich am Fuß in Fixation der Beweglichkeit und großer Schmerzhaftigkeit bei Belastung äußert. Sonst ist nichts nachzuweisen, und erst die Röntgenstrahlen zeigten, daß es sich in derartigen Fällen um eine starke Knochenatrophie handelte. Heiße Bäder, venöse Stauungen, Massage, Übungen, wodurch die Knochenbildung in den atrophischen Knochen befördert wurde, brachten nach Sudecks Erfahrungen Heilung.

Bezüglich der Achillodynie können wir uns auch des öfteren Klarheit durch eine Röntgenaufnahme verschaffen. Nach Wendt ist es nicht ausgeschlossen, daß manche derartige Fälle auf Fissuren im Calcaneus, wie wir sie bereits erwähnt haben, beruhen können, ein Befund, über den wir uns leicht Aufschluß durch die Radiogramme holen können.

Zu guterletzt kämen dann noch die angeborenen Mißbildungen in Frage, die Tibia- und Fibuladefekte, die Defekte der Tarsal- und Metatarsalknochen, die Deformitäten an den Zehen, kurz, alle Mißbildungen, die wir in der entsprechenden Weise natürlich auch bei der oberen Extremität aufgezählt haben und auf die wir deshalb auch hier verweisen können.

---

3. Kapitel.

Die Röntgentherapie.

Von Dr. Guido Holzknecht,
Privatdozent für mediz. Radiologie an der Wiener Universität, Leiter des Laboratoriums für radiologische Diagnostik und Therapie im Wiener allg. Krankenhause.

Dem Zweck des vorliegenden Werkes entsprechend soll das zu behandelnde Gebiet losgelöst von allen experimentellen und spekulativen Beweismitteln so geschildert werden, wie es sich in der Praxis darstellt.

Grundlagen.

Die praktische Röntgentherapie fußt auf den nachfolgenden Grundlagen und zerfällt im weiteren in die Technik der Einzelapplikation und die Klinik des Gebietes.

Jede lebende Zelle, welche Röntgenlicht absorbiert hat, erkrankt infolge einer chemischen Einwirkung*) desselben an einem pathologischen Prozeß, welchem bei genügender Intensität nach einiger Zeit (Latenzzeit) eine makroskopisch sichtbare entzündliche Veränderung folgt. Das kurativ Wirksame ist fast bei allen indizierten Affektionen nicht die Entzündung, sondern die Zellerkrankung. Sie ist ein eigenartiger, nur mikroskopisch direkt nachweisbarer Degenerationsprozeß,**) welcher im Gegensatz zur Wirkung äußerlich applizierter oder hämatogen arbeitender Medikamente, gleichmäßig an jeder Zelle, an jedem Molekül derselben ungehindert angreift und, abgesehen von abnormen Stoffwechselprodukten, auf das bestrahlte Gebiet beschränkt ist.

Die Zellerkrankung geht je nach ihrem Grade in Genesung oder Tod über (Nekrobiose), worauf die zur Verhornung neigenden Zellen abgestoßen, die anderen resorbiert werden. Der Grad, welchen der Prozeß erreicht, hängt von der Menge des absor-

---

*) Dissoziation wie in der photographischen Platte.

**) Körnung und Zerfall des Protoplasma, Blähung und Verlust der Färbbarkeit der Kerne etc. (Zuerst Scholz, siehe Literatur.)

bierten Röntgenlichtes ab und diese bestimmt somit auch die Höhe der entzündlichen Reaktion.*)

Die verschiedenartigen Zellgattungen der gesunden und krankhaften Gewebe erleiden durch die gleiche Menge absorbierten Röntgenlichtes verschieden starke Reaktionen, sie sind also verschieden empfindlich (elektive Wirkung),**) und zwar im allgemeinen um so empfindlicher je schneller ihr Stoffwechsel abläuft, je protoplasmareicher, je jünger die Zelle ist. Als Paradigmen seien angeführt:

Hochempfindlich: Die junge, psoriatisch veränderte Haut, das Gewebe der Mycosis fungoides, die leukämich infiltrierten Gewebe, gewisse rasch wachsende Lymphosarkome, das normale Hodenparenchym und andere; überempfindlich: die entzündlich veränderte Haut, ferner Akne, Sykosis, Lupus etc., das Epitheliomgewebe, das mykotische Haar etc., mittelempfindlich: das gesunde Epithel und seine Abkömmlinge, unterempfindlich: das Bindegewebe, die Gefäße (ausgenommen die Intima), die Randhaare alopezischer Herde und andere.

Die eigenartige, direkt und gleichmäßig an der Zellsubstanz angreifende chemische Aktion einerseits und die elektive Wirkung anderseits machen jene mächtige, von allen unseren therapeutischen Wirkungsmöglichkeiten differente, kurative Kraft aus, deren Eindruck sich kein Beobachter entziehen kann.

Im Verlauf einer Reaktion unterscheidet man Latenzzeit, Aszendens, Akme, Deszendens und Dauer.

Dieselben stehen zueinander in gesetzmäßigen Beziehungen: Je höher die applizierte Dosis, desto kürzer ist die Latenz, desto steiler die Aszendenz, desto höher die Akme, desto länger die ganze entzündliche Reaktion. Es läßt sich daher von jedem dieser Momente auf die übrigen zurückschließen. Die Höhe der Dosis aber beherrscht alle übrigen, von denen die Höhen der Reaktionen das Wichtigste sind. Für die Haut unterscheidet man in dieser Beziehung vier Grade.

1. Grad: Latenz ca. 3 Wochen. Degeneration ohne entzündliche Reaktion: äußerlich nur an ihren Folgen (Desquamation und Depilation, Resorption pathologischer Gewebe) erkennbar. Ausgang ad integrum.

2. Grad: Latenz ca. 2 Wochen. Die vorigen plus entzündliche Erscheinungen ohne Blasenbildung. Ausgang ad integrum, ohne Narbenbildung.

3. Grad: Latenz ca. 1 Woche. Die vorigen mit Blasenbildung, Exfoliation und Nässen. Ausgang in Überhäutung mit Dekoloration und später manifest werdende atrophische Veränderung. In derselben kommt es bei den höheren Stufen des 3. Grades nach 1—2 Jahren manchmal zu secundären Nekrosen.

4. Grad: Latenz ca. ½ Woche. Die vorigen plus Nekrose. Ausgang in Narbenbildung, oft erst nach provisorischer Überhäutung. Therapeutisch kommen der 1. und 2., bei ulzerierten malignen Tumoren auch der 3. und 4. Grad in Betracht.

---

*) Zuerst Kienböck.

**) Die Gleichen gleich. Es gibt keine beachtenswerten individuellen Differenzen hierin, keine Idiosynkrasie: daher ist eine Probebestrahlung, welche dieselben ermitteln sollte, zwecklos.

Es werden zwei

Applikationsarten

geübt:

1. Die Applikation in voller, für die beabsichtigte Reaktionshöhe genügender Dosis, welche in einer einzigen Sitzung gegeben wird.

Bei jenen Affektionen, bei welchen eine Reaktion zur Heilung genügt (siehe Epitheliom, Alopecia areata, Favus, Herpes tonsurans etc.), besteht daher die ganze Röntgenbehandlung in einer einzigen Sitzung für jede erkrankte Stelle.

Bei anderen Affektionen wiederum (siehe spezieller Teil) genügt eine Reaktion nicht für den vollen Erfolg (siehe Lupus, Skrophuloderma). Dann wird die eine Sitzung nach Ablauf der Reaktion, also mit Intervallen von 4—6 Wochen wiederholt. Als Gesamtbestrahlungszeit wird zur ungefähren Orientierung nicht als technische Vorschrift (siehe Dosierung) im speziellen Teil in Minuten die Zeit angegeben, welche erfahrungsgemäß durchschnittlich notwendig ist, um die notwendigen Dosen zu erreichen. Dabei ist eine der expeditiven Applikationsarten und rationeller Röhrenbetrieb (siehe diesen) vorausgesetzt. Bei mehreren Stellen ist sie natürlich mit ihrer Zahl zu multiplizieren. Als Verlaufsdauer in Monaten diejenige, welche bis zur Erzielung des vollen Effektes verstreicht.

2. Die Applikation in gebrochener Dosis, wobei durch zeitliche Ineinanderschiebung der Reaktionen ein dauernder, nur in seiner Höhe schwankender Reaktionszustand resultiert, wurde mit fortschreitender Verbesserung der Dosierung bei gewissen Affektionen (siehe spezieller Teil) immer häufiger. Üblich sind hier halbe Dosen in zwei- bis dreiwöchentlichen Abständen und Vierteldosen in wöchentlichen Abständen. Man nimmt die erste Dosis mit Vorteil fast voll.*)

Die Einzelapplikation.

Alle Applikationsarten setzen sich daher aus Einzelbestrahlungen (Sitzungen) zusammen. Die Technik derselben wird durch ihren Zweck bestimmt: Der Zweck der Einzelapplikation ist die Verabreichung einer bestimmten, der beabsichtigten Wirkung entsprechenden (siehe spezieller Teil) Menge Röntgenlichtes (Dosierung) an allen Stellen des für die Behandlung in Aussicht genommenen Gebietes

*) Die frühere, schleppende Applikationsart, welche in der häufigen, bis täglichen Verabfolgung minimaler Dosen bis zum Reaktionsbeginn besteht, wird für oberflächliche Prozesse fast nicht mehr geübt.

(Gleichmäßigkeit der Reaktion) und beschränkt auf dieses (Schutz der gesunden Haut), bei geringstem Aufwand an Zeit und Mühe (Rationeller Röhrenbetrieb).

Daraus ergeben sich die in Klammern gestellten praktischen Aufgaben der Bestrahlungstechnik, welche in umgekehrter Reihenfolge besprochen werden sollen.

A. Der rationelle Röhrenbetrieb.

Derselbe besteht in einer derartigen Bedienung des Instrumentes, daß dauernd hohe Lichtintensitäten geliefert werden, in der Absicht, die notwendige durch die Dosierung bestimmte Lichtmenge tunlichst schnell, in einer möglichst kurzen Sitzung zu erreichen.

$M = I \times T$: Die in der Einzelbestrahlung beabsichtigte Menge Röntgenlichtes wird dann am schnellsten erreicht, wenn die Intensität der Röntgenlichtquelle dauernd groß ist. Diese hängt vom Instrumentarium *) ab, dessen wichtigster Teil die Röntgenröhre ist, ein evakuierter Entladungskörper für sehr hochgespannten Strom.

Die Güte der einzelnen Marken sind sehr verschieden. Ebenso wichtig wie ihre Wahl **) ist ihre Bedienung.

Ihr Vakuum (und damit ihr Widerstand) wechselt häufig und oft ziemlich schnell, aber nur bei mittlerem Widerstand gibt sie große Lichtintensitäten. Man nennt sie dann mittelweich oder mittelhart. Die Röhre soll also im Gebrauch in der Regel mittleren Widerstand besitzen. Damit das der Fall ist, muß man 1. wissen, wie man diesen Zustand erkennt, 2. wie man ihn herstellt, wenn er nicht vorhanden ist, 3. wie man ihn konstant erhält, wenn er vorhanden ist.

Ad. 1. Die Röhren bieten als Zeichen ihres mittleren Widerstandes leises regelmäßiges Knistern und schwaches blaues Licht

---

*) Die heute vorhandenen Produkte sind mit Ausnahme der Röntgenröhren fast gleichwertig. Der Fabrikant liefert über genaue Angabe der Stromquelle ein geeignetes Instrument, lehrt die nötigen Handgriffe, und die Reparaturen müssen durch ihn besorgt werden. Der Privatfleiß mag sich detailierte Kenntnisse darüber aus den Büchern holen. Praktisch sind sie bis auf die die Röhren betreffenden überflüssig.

**) Sie müssen 1. eine natürliche Konstanz des Widerstandes besitzen, 2. sich der Belastung gegenüber nachgiebig verhalten, 3. eine gute (rasche, bequeme, dosierbare) Vorrichtung zur Regenerierung des verbrauchten Vakuums besitzen und 4. eine geringe Neigung zur Metallversprühung haben. Ich habe nach Prüfung fast aller Fabrikate die Röhren von C. H. F. Müller, Hamburg, Type Nr. 12 und H. Bauer, Berlin, in fast alleinigem Gebrauch, doch gibt es Hauptinstrumente, welche andere Röhren besser bedienen.

an der Anode dar,*) fehlt das erstere, so sind sie weich, fehlt das letztere, so sind sie hart. Das Knistern kann man nicht hören, wenn der lärmende Unterbrecher im selben Raum aufgestellt ist. Das blaue Anodenlicht kann man nicht sehen, wenn im Raum volles Tageslicht vorhanden ist, sondern nur bei gedämpftem. Die den Arzt schädigende Beurteilung der Röhre nach dem Bilde seiner Hand ist überflüssig.

Ad. 2. Wenn die Röhre hart ist, so vermag man sie in mittelweichen, richtigen Zustand zu bringen, indem man sie überlastet.**) Wenn sie sehr hart ist, nützt die Überlastung nichts, und (nur dann) wird die an der Röhre vorhandene Vorrichtung zur Herabsetzung des Vakuums benutzt (Gebrauchsanweisung). Wenn die Röhre weich ist, vermag man sie in den richtigen Zustand zu bringen, indem man sie unterlastet.**) Wenn sie sehr weich ist, nützt das nichts, und man lasse sie abkühlen und einen Tag ruhen, gebrauche aber nie die an der Röhre vorhandenen Vorrichtungen zur Erhöhung des Vakuums. Eine neu bezogene Röhre ist meist zu weich. Sie wird unterlastet betrieben (ohne Patienten) bis sie mittelweich ist.

Ad. 3. Die nach 1. als mittelweich erkannte oder nach 2. mittelweich gemachte Röhre wird in diesem Zustande erhalten, in dem man sie weder über- noch unterlastet, also „richtig“ belastet. Die richtige Belastung findet man empirisch, indem man die Kurbel des Reostaten zunächst auf eine beliebige mittlere Belastung einstellt, und die Belastung etwas verringert, wenn sie sich als zu hoch erweist (allmähliches Weicherwerden, Abnahme oder Verschwinden des Knisterns oder erhöht, wenn sie sich als zu gering erweist (allmähliches Härterwerden, Abnahme oder Verschwinden des Anodenlichtes); das nenne ich den rationellen Röhrenbetrieb. Wer ihn nicht übt, hat den großen aber nur den einen Nachteil zu tragen, daß er länger braucht,***) bis er die gewünschte Lichtmenge erreicht; denn $M = I \times T$. Mit der Dosierung hat der Röhrenbetrieb nichts zu tun.

B. Der Schutz der gesunden Haut.

Absicht siehe Seite 295. Bleiblech von 0,25 cm absorbiert 96 % jeder auffallenden Röntgenlichtmenge von der in betracht kommenden mittleren Penetrationskraft. Die durchgehenden 4 % bringen auf der Haut selbst bei ungeheurer Überdosierung keine Veränderung hervor. Mit solchem wird nun die gesunde Umgebung bedeckt.

*) Die Walter'sche Härteskala zeigt bei diesem Röhrenzustand auf Nr. 5—6, bei weicherem auf 3—4, bei härterem auf 7—8.

**) Die Belastung der Röhre besteht in der Intensität und der Frequenz der ihr zugeführten Stromstöße. Sie wird mittelst der Kurbeln des elektrischen Instrumentars reguliert (vergrößert oder verkleinert).

***) Vermehrung der Sitzungen oder der Sitzungsdauer.

Da es stark abfärbt, knittert, bricht, an Plasticität verliert und nicht gut waschbar ist, wird es nicht frei, sondern mit Kautschuk überzogen gebraucht*) und zwar etwa in 6 Stücken von 33×50 cm (zusammen 1 m²), mit verschieden großen halbkreisförmigen Ausschnitten an der kurzen Seite, welche zusammengefügt, wie immer geformte Herde umgrenzen lassen (siehe Fig. 113). Die Patienten liegen, die betreffenden Körperteile, sowie die Schutzdecken werden mit Sandsäcken fixiert. Wer den Schutz der gesunden Haut verabsäumt, erhält auf derselben die der gegebenen Dosis entsprechende Reaktion z. B. Haarausfall, und, wenn er die Dosis im Krankengebiet zu sich genommen hat, auch im Gesunden eine mehr minder große Schädigung.**)

C. Gleichmäßigkeit der Bestrahlung.***)

Die Intensität jedes von einem Punkte ausgehenden (fokalen oder annähernd fokalen, in einer Kugelwelle verlaufenden) Lichtes nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab. Ein Strahl wird also umso schwächer, je länger der Weg ist, den er zurückgelegt hat. Zwei Strahlen treffen daher mit verschiedener Intensität auf der bestrahlten Fläche ein, wenn ihre Weglänge verschieden war. Das trifft aber bei der Röntgenbestrahlung fast immer zu. Denn nur, wenn wir mit unserer fokalen Lichtquelle ein Stück einer Hohlkugelfläche bestrahlen, können alle Strahlen von Fokus bis zur bestrahlten Fläche gleich lang sein, nämlich so lang wie der Radius, nachdem jene gekrümmt ist. Wir haben es aber nur selten mit annähernd konkaven Bestrahlungsfeldern (Kniekehle, Achselhöhle, seitliche Halsfläche und Schulter), sondern fast immer mit annähernd ebenen oder annähernd konvexen Flächen zu tun. Vergegenwärtigt man sich durch einige konstruktive Skizzen die Wegelänge der Strahlen zu den einzelnen Punkten solcher Flächen, so erkennt man, daß sie nicht gleich sein können, daß z. B. der Rand und die Mitte

*) Der Schutz des Arztes und des technischen Personals vor direktem Röntgenlicht sei ein absoluter. Jede Röhre teilt durch ihre Antikathoden-(Hauptanoden-)ebene den Raum in zwei Hälften. Das zu bestrahlende Objekt befinde sich in der vor dieser Ebene liegenden Hälfte des Raumes, der Arzt hinter derselben. Der Schutz vor Sekundärstrahlen ist überflüssig. Schutzhüllen aus schwerdurchlässigem Material sind zweckmäßig, wenn sie auch die Expeditivität der Arbeit verringern, doch nicht notwendig. Unter den zahlreichen Blendenkästchen scheint mir das von J. Robinsohn das bei weitem zweckmäßigste zu sein. Gegen die Atrophie des Hodenparenchyms sind jedenfalls Bleischürzen zu tragen. Die Sterilisation als Methode hat bisher einwandfreie Indikationen nicht gefunden.

**) Schutzmaterial aus Kautschuk bezogenem Bleiblech.

***) Hier ist nur die Gleichmäßigkeit an der Oberfläche bedacht; die Gleichmäßigkeit in der Tiefe siehe spez. Teil, innere Krankheiten.

des Bestrahlungsfeldes*) von verschieden langen Strahlen getroffen werden. Die Intensität derselben ist daher auch verschieden groß. Die Bestrahlung muß also ungleichmäßig sein. Man merkt dabei aber auch, daß sie immerhin weniger ungleichmäßig ist, wenn die Lichtquelle 1. senkrecht über der Mitte des Bestrahlungsfeldes**) aufgestellt ist und 2. hoch über dem Bestrahlungsfeld steht.***) Wenn man diese Vorteile benützt, so gelangt man zwar, da diese unmöglich ist, zu keiner absoluten, wohl aber zu einer genügenden, relativen Gleichmäßigkeit, und ich kam bei diesbezüglichen Versuchen empirisch zu folgenden Regeln: 1. Die Röhre wird mit dem Fokus senkrecht über die Mitte des zu bestrahlenden Feldes gestellt und zwar 2. bei ebenen oder annähernd ebenen Flächen doppelt so hoch als der längste Durchmesser des Herdes beträgt, bei konvexen noch höher. (E = 2 D).

Ist die zu bestrahlende Ebene sehr groß, so würde die Bestrahlungszeit sehr lang werden. Man geht daher über 30 cm Röhrendistanz nicht hinaus, sondern teilt in solchen Fällen die zu große Fläche in entsprechende kleinere Teile ein und bestrahlt sie aus entsprechend kleinerer Entfernung†) nach einander, so wie, wenn es sich nur um so kleine handelte, aber ohne dabei die anderen noch zu bestrahlenden oder schon bestrahlten Teile mit Schutzmaterial zu bedecken, also unter Überkreuzung der Einzelbestrahlungen.

Wir sehen, daß die Entfernung des Fokus von der Haut, die Fokus-Hautdistanz für die Gleichmäßigkeit der Reaktion wichtig ist und nicht, wie dies noch fast überall geschieht, nach Geschmack gewählt werden darf. Mit der Dosierung hat sie nichts zu tun, sie muß sich nach der Bestrahlungsfläche richten. Wo man die Gleichmäßigkeit der Reaktion vernachlässigen kann, das ist im speziellen Teile jedesmal angegeben. Man wird dann im Interesse der Kürze der Bestrahlungsdauer eine kleinere Fokus-Hautdistanz wählen.

Wer diese Minima der Fokushautentfernung nicht einhält, wo sie notwendig sind (siehe spez. Teil), erhält ungleichmäßige Reaktionen, z. B. am Rande des Bestrahlungsfeldes zu niedrige, oder in der Mitte zu hohe. Wer größere Entfernungen als die für die genügende Gleichmäßigkeit notwendigen wählt, verbessert zwar noch weiter die Gleichmäßigkeit, vermehrt aber andererseits die Dauer oder Zahl der Sitzungen, was gelegentlich im Sinne größerer, das notwendige Maß überschreitender Sorgfalt angebracht sein kann.

---

*) Dabei spielen auch noch die an verschiedenen Stellen verschiedenen Einfallswinkel der Strahlen resp. ihre Kosinus eine große Rolle.

**) Immer von Fokus, nicht von der Glaswand gerechnet.

***) Kienböck hat diesen Zusammenhang zuerst erkannt.

†) Es kommt nur auf den Fokus an; die Lage der Ebene der Antikathode ist ziemlich gleichgiltig.

D. Dosierung.

Die Dosierung umfaßt alle Bestrebungen, welche darauf gerichtet sind, in dem zu bestrahlenden Gebiet eine bestimmte Menge Röntgenlichtes, nicht mehr und nicht weniger zur Absorption zu bringen. Wie große Mengen im Einzelfalle appliziert werden, darüber gibt der spezielle Teil Auskunft.

Als Einheit der Röntgenlichtmenge gilt 1 H, das ist diejenige Menge, deren dreifaches der normalen Haut des Gesichtes Erwachsener appliziert eine eben merkliche Reaktion hervorruft.

Die Messung der Röntgenlichtmenge geschieht mittelst eines Dosimeters.*) Der Reagenzkörper desselben zeigt, wenn er neben einer bestrahlten Hautstelle liegt, im Laufe der Bestrahlung eine Farbenänderung (Instrumente von Holzknecht und Sabouraud), oder erhält diese nach dem Entwickeln (Kienböck), oder erhält einen Niederschlag (Schwarz), deren Intensität resp. Höhe von der Menge des Röntgenlichtes abhängt, und an der Skala fixer Färbungen durch Vergleich resp. in Trübungseinheiten abgelesen werden kann. Soviel Röntgenlicht als den Reagenzkörper hat aber auch die neben ihm befindliche Haut getroffen und daher ist die sichtbare Veränderung des Reagenzkörpers ein Maß für die zunächst unsichtbare, erst nach Ablauf der Latenzzeit erscheinende Veränderung der Gewebe. In praxi wird so verfahren, daß man bei jeder Bestrahlung den Reagenzkörper an später zu normierender Stelle anbringt, und ihn von Zeit zu Zeit, etwa von 5 zu 5 Minuten, durch Vergleich mit der Skala abliest und so konstatiert, ob die gewünschte Höhe der Dosis erreicht ist. Ist dies der Fall, so ist die Einzelapplikation zu Ende und der Reagenzkörper wird für einen Tag an das Fenster gelegt, wo das Tageslicht seine Färbung wieder vernichtet und ihn neuerdings gebrauchsfertig macht.

Der Reagenzkörper wird vor Beginn der Bestrahlung auf diejenige Stelle des zu bestrahlenden Gebietes gelegt, welche die

---

*) Die direkte Messung des Röntgenlichtes hat der Autor erdacht. Instrumente zur direkten Messung der Menge des nach beliebiger Zeit von der Röhre abgegebenen Röntgenlichtes sind: Das Chromoradiometer des Autors 1902, das Radiometer von Sabouraud 1905, das Quantimeter von Kienböck 1906, das Fällungsradiometer von Gottwald Schwarz 1906. 1 H = 2 X (Kienböck) = $^1/_5$ Sabouraud's Teinte B = $1^1/_2$ Kolom (Schwarz). Alle indirekt messenden Methoden, das Milliampèremeter, Messung der Temperatur, sowie der erzeugten Wärmemenge innerhalb der Röhre leiden an prinzipiellen Fehlern.

kleinste Distanz zum Fokus der Röhre aufweist,*) oder vielmehr, da der Reagenzkörper die Hauptstelle die er bedeckt, gegen die Strahlung schützen würde, an einer anderen, vom Fokus gleichweit entfernten Stelle außerhalb des Bestrahlungsbereiches, am Rande des Schutzbleches etc. Dabei muß die auffangende Oberfläche des Reagenzkörpers so im Raume liegen, daß die sie treffenden Strahlen senkrecht auf sie auffallen. Für die richtige Dosierung, also für die Vermeidung der Über- und Unterdosierung ist nur die richtige Handhabung des Dosimeters entscheidend. Alle anderen technischen Maßnahmen, besonders der rationelle Betrieb des Instrumentariums haben nur Bedeutung für die Ökonomie an Arbeit und Zeit.

Da eine Idiosynkrasie gegen Röntgenlicht trotz aller gegenteiligen unbewiesenen Behauptungen nicht nachgewiesen ist, so ist jede Schädigung durch Überdosierung bedingt (Kienböck). Die Schädigungen haben mit Verbesserung der Dosierungsmethoden stetig abgenommen. Meine Statistik aller unbeabsichtigt starken Reaktionen, auch der leichten, ohne dauernde Schädigung verlaufenen, ist folgende:

Jahre	1902 C!				1903				1904				1905				1906	
Zahl der Reaktionen	1183				2580				2202				1831				759	
Jahresquartale	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II
Zahl der Reaktionen	92	63	146	882	795	702	673	410	600	520	373	709	585	602	325	319	407	352
Zahl übermäß. Reaktionen	6	6	7	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0
Schädigungen in Prozenten	6.5	9.5	4.8	0.7	0				0.05				0.1				0	

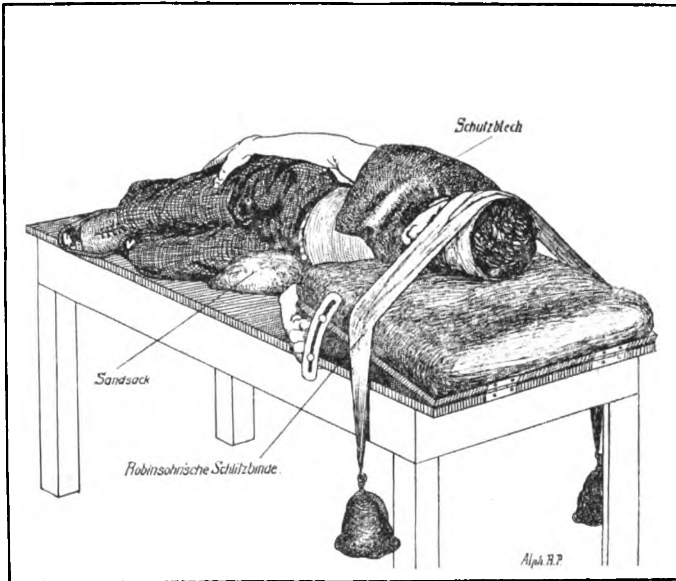
Die plötzliche Zunahme meines Materiales, Herbst 1902, rührt von der Übernahme der Arbeiten im Röntgenlaboratorium des k. k. allgemeinen Krankenhauses in Wien her. Die Entlastung um die Mitte 1905 rührt von der Abgabe des überwiegenden Teiles des Lupusmateriales an die neuerrichtete Lupusheilstätte (Dir. Hofr. Lang) her. Das Chromoradiometer (C!) wurde Herbst 1902 in Gebrauch genommen und bald jede Dosis mittelst desselben bestimmt.

*) Messung nach Hand- und Fingerbreiten zwischen Haut und Glaswand, oder mit 2 Stäbchen (———) (Robinsohn), oder mittelst eigenen Instrumentes (Schwarz) in der Richtung gegen den Fokus.

Die praktische Durchführung der Einzelapplikation hält im Allgemeinen folgende Reihenfolge ein:

1. Lagerung des Kranken insbesondere des zu bestrahlenden Teiles.

Die Bestrahlung wird stets im Liegen vorgenommen, weil diese Stellung am leichtesten und einfachsten eine genügende Fixation des Bestrahlungsfeldes und der Schutzmittel gestattet. Einen gepolsterten*) Tisch (Fig. 111) von der Höhe**) eines Operations-



Figur 111.

tisches ersteigt der Kranke mit Hilfe eines Schemels und wird nun unter Zuhilfnahme eines gewöhnlichen Roßhaarpolsters von 12 cm Dicke, eines Keilpolsters von 15 cm Basisbreite und 50 cm kürzere Seite***) und einer 15 cm dicken Rolle so gelagert, daß die zu bestrahlende Partie aufwärts sieht.†) Diese Lage sei stabil und passiv††)

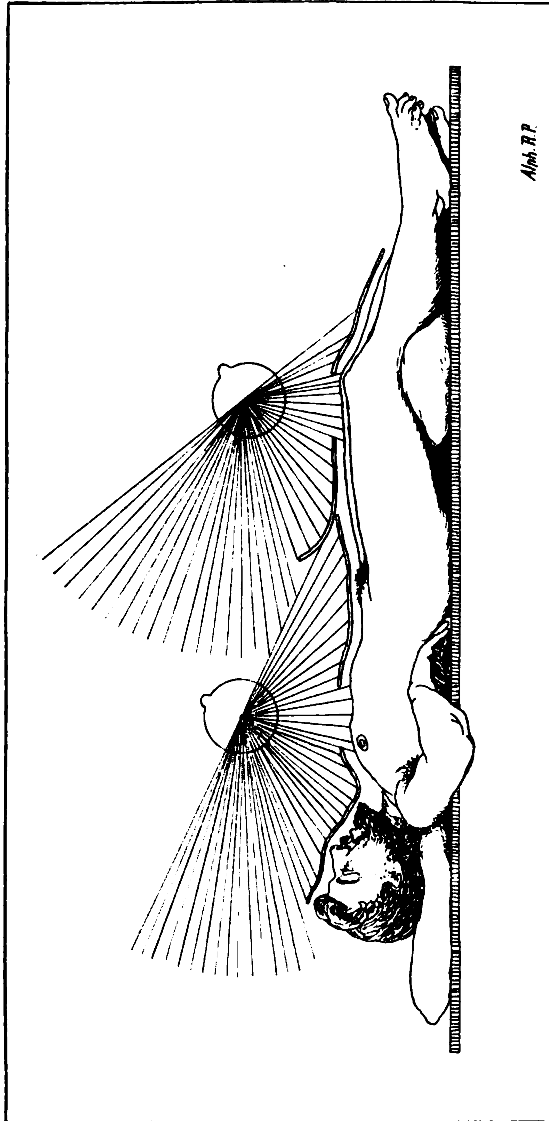
*) Bis einstündiges Liegen bisweilen nötig.

**) Die Vorbereitung nimmt oft 5 Minuten und mehr in Anspruch.

***) Die längere nach der Tischbreite bemessen (letztere 60 bis 70 cm).

†) Wo dies Schwierigkeiten macht (z. B. Milz von hinten), mag sie seitwärts gerichtet werden.

††) Eingezogene Beine etc.



Figur 112.

oder werde durch untergeschobene Sandsäcke zu einer solchen gemacht. Der zu bestrahlende Teil werde durch weitere Fixationsmittel (Sandsäcke, Bindenzügel mit Gewichten vor allem die Robinsohn'sche Schlitzbinde) um so ruhiger gestellt, je genauer bei der folgenden Bestrahlung der Schutz des Gesunden, und die Gleichmäßigkeit genommen werden muß, je höher die anzuwendende Dosis ist.

2. Die Abdeckung des nicht zu Bestrahlenden.

Die nicht zu bestrahlende Umgebung wird, wo überhaupt Schutz des Gesunden nötig ist (spezieller Teil) in weitem Umfang, mit Schutzmaterial, das weich, plastisch und etwas elastisch sei*) bedeckt und seine Lage durch entsprechendes Verbiegen des Bleches und Umgreifen der bedeckten Teile, durch Belasten der frei auf dem Tisch liegenden Blechteile mit Sandsäcken, durch Bindenzügel mit Gewichten an beiden Enden gesichert. Meist genügt es freilich bei festgestelltem Körperteil, das Schutzmaterial seiner Schwere zu überlassen. Die zweckmäßigste Form des Schutzmaterials erhält man, wenn man einen qm desselben in 6 Teile teilt und an diesem die in (Fig. 112) angedeuteten Ausschnitte macht. Daneben werden noch kleinere Abfälle dickes Staniol, eine Paste aus Gummi arikum und Bismuthum subnitricum (Robinsohn) für feinere Abgrenzungen dort gebraucht, wo im speziellen Teil das genaueste Vorgehen empfohlen ist. Es folgt:

3. Einstellen der Röntgenröhre.

Die in einem der üblichen Röhrenträger gehaltene Röhre wird a) mit dem Fokus ungefähr über die Mitte des zu bestrahlenden Feldes aufgestellt. Die Entfernung des Fokus vom nächsten Punkt der Körperfläche wird nach den in Kapitel Gleichmäßigkeit angegebenen Normen gewählt und die Lage der Antikathode und damit der ganzen Röhre im Raum so gewählt, daß das ganze zu bestrahlende Feld vor der Ebene der Antikathode der größte Teil des Zimmers hinter derselben liegt. In diesem Teil, also außerhalb jeder direkten Strahlung haben sich alle Personen aufzuhalten. Diese Sorge fällt weg, wenn die Röhre in eine Barytkautschukumhüllung**), die einen großen (8—10 cm im Durchmesser erhaltenden) kreisförmigen Ausschnitt trägt (Wärmeretention), oder in ein Blendenkästchen eingeschlossen ist.

---

*) Das Kautschuk überzogene Bleiblech von 1/4 mm Bleistärke ist noch nicht übertroffen worden. Rein elastischer Schutzstoff ist unzweckmäßig. Die Plastizität vermittelt das Verbleiben in gegebenen Formen.

**) Bleiglashüllen brechen zu oft, beide retinieren Wärme.

Zu diesem Zwecke mache man sich klar, daß jede Röntgenröhre, wie immer sie steht, mittelst der Ebene ihrer Antikathode die Welt in 2 Hälften teilt, und zwar in eine bestrahlte, welche vor dieser Ebene liegt und eine unbestrahlte hinter derselben. Die Strahlungsintensität ist in der überhaupt lichterhaltenden Hälfte in allen Richtungen so ziemlich die gleiche. Es folgt:

4. Anbringung des Reagenzkörpers eines Dosimeters:

1. des Chromoradiometers außerhalb des Bestrahlungsfeldes auf dem Schutzmaterial mittelst Heftpflaster. Seine Entfernung vom Fokus gleich der des Fokus von dem der Röhre nächsten Punkte der Körperoberfläche, und zwar so, daß es von den Strahlen senkrecht getroffen wird. 2. Des Kienböckschen Quantimeterstreifens im Bestrahlungsfeld auf dem der Röhre nächsten Punkt der Haut. Die Prüfzelle des Schwarz'schen Fällungsradiometers in seiner, an der Röhre befestigten Klammer in halber Fokushautdistanz. Des Sabouraud'schen Scheibchens auf dem Portradiometer oder obiger Röhrenklammer in halber Fokushautdistanz.

Röhrenbetrieb.

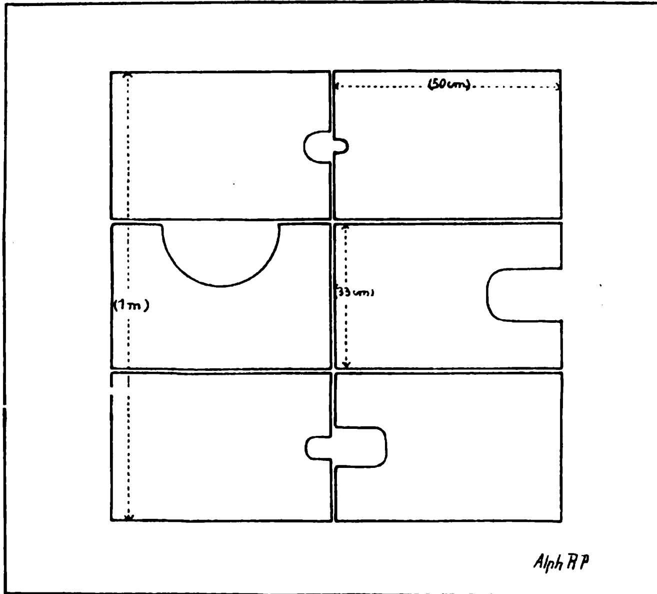
Nun wird die Röhre in Funktion gesetzt. Dies geschieht bei Gebrauch des Wehneltunterbrechers*) durch einfaches Schließen des Primärstromhebels am Schaltbrett.**) Nun gibt die Röhre verschiedene Zeichen des Stromdurchganges: a) sie läßt Funken schlagen oder wenigstens heftiges und beunruhigendes Knistern hören. Dann ist sie zu hart und muß (siehe rationeller Röhrenbetrieb) weicher gemacht werden. b) Sie leuchtet mehr minder stark ohne jegliches Geräusch. Dann ist sie zu weich und muß bei minimaler Strommenge (½ Ampère) so lange betrieben werden, bis sich leises regelmäßiges Knistern hörbar macht. c) Sie knistert sofort leise und regelmäßig, ist also mittelhart oder mittelweich, was dasselbe ist, also von richtiger Stromdurchlässigkeit.

Nun stellen wir den Primärstromhebel auf irgend eine mittlere Strommenge (Belastung) stellen eine Alarmuhr auf 5—10 Minuten ein, blos deshalb, damit sie uns später daran erinnert, die verabreichte Lichtmenge zu kontrollieren und lenken unsere Aufmerksamkeit, wenn uns daran liegt, nicht überflüssigerweise Zeit zu vergeuden, den äußeren Er-

*) und des jetzt völlig verlassenen Neef'schen Hammers.

**) Bei mechanischen Unterbrechern (Quecksilberstrahlunterbrecher, Motorunterbrecher, Stiftunterbrecher) nach vorhergehenden Schließen des Unterbrecherstromes. (Ingangsetzen des Unterbrechers.)

scheinungen an der Röhre zu:" Wir beantworten jede Andeutung von Härterwerden (Zunahme des Knisterns) mit Vermehrung der Strommenge, jedes Weicherwerden (Abnahme



Figur 113.

des Knisterns) mit Verminderung derselben und nehmen, wenn z. B. wie so oft, der eine Knopf zu viel und der andere zu wenig Strom gibt, noch den wichtigen Rheostaten für feine Abstufung der Belastung zu Hilfe: all dies, wie wir es als „rationellen Röhrenbetrieb“ gelernt haben. Wir können das auch einer hierin von uns geschulten Hilfsperson überlassen.*) Überflüssig ist jeder Blick auf ein Ampèremeter, Voltmeter, Tachometer etc. Nur Unklarheit kann solchen Ballast mitschleppen oder gar protokollieren.

Benützen wir einen mechanischen Unterbrecher, so reduzieren wir seine anfangs groß gewählte Geschwindigkeit am Gleitrheostat für den Motorstrom so lange, bis die Röhre die einzelnen Lichtschläge eben erkennen läßt. Beim Wehneltunterbrecher sorgen wir dafür schon bei der Instalation, indem wir bei mittelweicher Röhre und mittlerer Belastung den an-

*) Für diese gilt die allgemeine Regel: Sie darf nie Dinge tun, die wir Leitenden nicht verstehen.

fangs kurzen Platinstift mittelst seiner Kopfschraube solange verlängern, bis die Lichtschläge an der Röhre eben sichtbar werden. Inzwischen sei die an der Allarmuhr eingestellte Zeit vergangen, wir unterbrechen den Primärstrom, holen den Reagenzkörper des angewendeten Dosimeters herbei und lesen die bis jetzt verabreichte Lichtmenge (siehe Gebrauchsanweisung der einzelnen Instrumente) ab. Je nachdem wir der beabsichtigten Dosis (siehe spezieller Teil) nahe gekommen sind oder nicht, setzen wir (Allarmuhr) die Bestrahlung noch kürzere oder längere Zeit fort.

Wahl und Aufstellung des Instrumentes.

Mittelstarke Induktorien der größeren Firmen hoch an der Wand auf eingelassenen Schienen. Das Schaltbrett nahe dem Tisch, weit von der Röhre Gleichstrom, Wehneltunterbrecher für den, der sorgsame Röhrenbetrieb nicht scheut, sonst Quecksilberstrahlunterbrecher, alles tunlichst von einer am Ort ansässigen Firma, damit die allfälligen Reparaturen keine Schwierigkeiten machen, sind empfehlenswert. Von den Röhren kann ich nur Müller Nr. 12, Bauer und die Bikathodenröhre Koch & Sterzel's empfehlen.

Spezieller Teil.

Diese in sich abgeschlossene, leicht erlernbare Technik wird bei einer Reihe von Affektionen angewendet. Im allgemeinen ist, wie aus den Grundlagen hervorgeht, die Indikation dann gegeben, wenn das vorliegende pathologische Gewebe höhere Empfindlichkeit zeigt, also mehr geschädigt wird als die normale Umgebung und der normale Grund. Im folgenden sollen, vom Unsichern abgesehen, nur die gesicherten Indikationen und ihre spezielle Technik und Prognose besprochen werden. Die Reihenfolge ist so gewählt, daß zuerst die indicierten Dermatosen und dann die inneren und chirurgischen Erkrankungen besprochen werden, und daß innerhalb der ersteren mit denjenigen begonnen wird, für die die Bestrahlung als strikte Indikation bezeichnet werden kann, dann diejenigen, bei denen die Röntgentherapie vollen Effekt hat, dann diejenigen, bezüglich derer die vergleichenden Studien zwischen ihrer Wirkung und der der sonstigen Behandlung noch nicht abgeschlossen sind, endlich jene, bei denen meist nur eine adjuvierende oder palliative Wirkung erreicht wird.

Dermatosen.

1. Der flache und der Papillarkrebs der Haut.

Indikation: Dieser, sofern er noch nicht die ganze Dicke der Haut durchsetzt hat (Verschieblichkeitsprüfung), ist sowohl wegen

der größeren Sicherheit als auch des besseren kosmetischen Resultates strikte indiziert. Den tiefgreifenden siehe unter Karzinom.

Gleichmäßigkeit: Wichtig.

Schutz des Gesunden: Wichtig, 1 cm im Gesunden.

Applikationsart: In dosi plena, 1 mal; bei Resten in Monatsabstand Wiederholung.

Dosis: 4—5 H.

Latenz: 2 Wochen.

Reaktion: 2°.

Akme: 3. Woche.

Verlauf: Abstoßung bei Papilom, Resorption bei infiltrierenden und ulzerierten Formen; Epithelialisierung. Reste kommen bei schlechter Zugänglichkeit (Nischen des äußeren Ohres, Lidwinkel, Nasenöffnung) und bei Unterdosierung vor, weil dann Gleichmäßigkeit unmöglich.

Wenn nicht bald Reste sichtbar, meist kein Rezidiv.

Gesamtbestrahlungszeit: 5—20 Minuten.

Verlaufsdauer: 1 bis mehrere Monate.

2. Alopecia areata.

Zwei vorher nicht unterscheidbare Formen. Die eine bietet vollkommenen Erfolg, die andere ist vollständig refraktär. Daher Probebestrahlung einer umschriebenen Stelle, Kontrolle der Reaktion (Rötung, Desquamation) in der dritten Woche und des Effektes im dritten Monat. Dann Ablehnung oder Totalbehandlung.

Gleichmäßigkeit: Wichtig.

Schutz des Gesunden: Gewöhnlich, 1—2 cm im scheinbar Gesunden.

Applikationsart: In dosi plena, 1 mal.

Dosis: A. barbae 3—4 H., A. capitis 4—5 H.

Verlauf: Depilation bis auf Haarkränze um die Herde. In positivem Fall: Sichtbares Nachwachsen der Haare an den Herden nicht vor 6 Wochen nach der Epilation, anfangs dunkler und straffer als die früheren, kurz vor dem Sichtbarwerden der depilierten, gesunden Haare, Rezidive nicht beobachtet.

Gesamtbestrahlungszeit: 5—20 Minuten pro Herd. Ganzer Kopf zirka 90 Minuten.

Verlaufsdauer: 4 Monate.

3. Mycosis fungoides.

Gleichmäßigkeit: Minder wichtig,

Schutz des Gesunden: Minder wichtig.

Applikationsart: In dosi plena, 1 mal; bei großen Tumoren nach Abflachung eine halbe Dosis.

Dosis: je nach Größe des Tumors 3—5 H.

Latenz: 5—6 Tage.

Reaktion: 1°.

Verlauf: Resorption der Tumoren. Abblassen und Verschwinden der prämykotischen Erscheinungen. Die Rezidive (an Ort selten, sonst entsprechend dem nicht lokalen Charakter regelmäßig) werden ebenso behandelt. Nach Jahren scheint die terminale innere Metastasierung die Regel zu sein. Jede andere Therapie des tödlichen Prozesses fruchtlos.

Gesamtbestrahlungszeit: 5—30 Minuten.

Verlaufsdauer: 1 Monat.

4. Favus.

Gleichmäßigkeit: Sehr wichtig (Sonst Rezidiv von ungenügend getroffenen Stellen aus).

Schutz des Gesunden: Gewöhnlich.

Applikationsart: 1 mal in dosi plena. Bei restierenden, nicht depilierten Stellen rasche örtliche Wiederholung, sonst Rezidive.

Dosis: 4—5 H.

Latenz: 2 Wochen.

Reaktion an den entzündlichen Partien 2°, an den nicht entzündlichen 1°; Akme: 3. Woche.

Verlauf: Depilation, Desquamation oft in mächtigen Rasen. Überhäutung von eventuellen excoriierten Stellen. Sonstige Therapie (Beschleunigung der Desquamation durch Seifenwaschung) nicht unbedingt nötig, dagegen Wechseln der Kopfbedeckung und der Kleidung um diese Zeit empfehlenswert. Rezidiv nur bei ungleichmäßiger Bestrahlung (von nicht depilierten Stellen). Nachwachsen der Haare (meist anfangs etwas dunkler) nicht vor 6 Wochen nach der Epilation (bei Überdosierung defekt) überall, wo nicht durch ulzeröse Prozesse die Papillen vernichtet waren.

Gesamtbestrahlungszeit: ca. 15 Minuten, der ganze Kopf ca. 90 Minuten.

Verlaufsdauer, bis neuer Haarwuchs vollständig: 3 Monate.

5. Herpes tonsurans.

Technik und Verlauf genau wie bei Favus.

6. Akne vulgaris.

Gleichmäßigkeit: Wichtig. Bei Bestrahlung des ganzen Gesichtes 15—18 cm Hautfokusdistanz, 4 Fokusstellungen: beide Wangen, Kinn und Oberlippe von vorn, Submaxillargegend von unten bei überstrecktem Hals, beide Tubera frontalia. Das Lippenrot ist abzudecken.

Schutz des Gesunden: Weit im Gesunden.

Applikationsart: Einmal in dosi plena.

Dosis: Im Gesicht 3 H., am Rumpf 4 H.

Latenz: Eine Woche.

Reaktion an den Knötchen 2°, an den Zwischenstellen 1°.

Akme: 3. Woche.

Verlauf: Der Prozeß exazerbiert, neue (latente) Knoten treten auf. Desquamation. Abheilung. Eventuelle zirkumskripte Reste in dosi plena zu wiederholen.

Gesamtbestrahlungszeit: pro Stelle 5—15 Minuten.

Verlaufsdauer: 1½ Monate.

7. Sykosis barbae et nuchae.

Gleichmäßigkeit: Sehr wichtig, weil mehrfache Wiederholung den Haarwuchs schädigen würde. Bei Bestrahlung der ganzen behaarten Gesichtshaut 15—18 cm Hautfokusdistanz, 4 Fokusstellungen: beide Wangen, Kinn und Oberlippe von vorn, Submaxillargegend von unten mit gekreuzten Bestrahlungsfeldern. (Das Gleiche gilt bei Hypertrichosis,) Das Lippenrot ist abzudecken.

Schutz des Gesunden: Bestrahlung bis an die Haargrenzen, bei umschriebenen Herden weit im Gesunden.

Applikationsart: 1 mal in dosi plena. Nicht rasieren.

Dosis: 3—5 H. (Auch größere Infiltrate müssen nicht skarifiziert oder exkochleiert werden.)

Latenz: Eine Woche.

Reaktion zweiten Grades.

Verlauf: Der Prozeß exazerbiert, die Pusteln öffnen sich, latente treten hervor. Depilation, Abheilung. Erneuerung des Haarkleides in 2 Monaten. Rasieren durch 1 Jahr. Umschriebene Rezidive besonders bei Fortbestehen der Infektionsquelle, z. B. chronische Rhinitis (zu behandeln), aber auch sonst. Wiederholung in refracta dosi (2 H in zweiwöchentlichen Intervallen).

Gesamtbestrahlungszeit: 10—20 Minuten.

Verlaufsdauer: 1½ Monate.

8. Psoriasis vulgaris.

Gleichmäßigkeit: Minder wichtig. Entfernung gleich längstem Durchmesser des Bestrahlungsfeldes.

Schutz der gesunden Haut: Bei richtiger Dosierung überflüssig. Kopfhaut und Bart wegen der Rezidive (Epilation) zu vermeiden.

Applikationsart: 1 mal in dosi plena.

Dosis: Gesicht bis 2 H, Rumpf bis $3^1/_2$. Cave 4 resp. 6 H. Also Dosen, bei denen eine entzündliche Reaktion nicht eintritt. Tritt sie nämlich ein, so psoriatisiert sich die ganze entzündlich veränderte Hautpartie in den meisten Fällen. Diese artefiziell hervorgerufene Eruption greift in manchen Fällen auch auf nicht bestrahlte, früher freie Partien über.

Latenz: Eine Woche.

Reaktion: 1°.

Verlauf: Bei obiger Dosierung keine entzündliche Veränderung. Abblassen und Desquamation der Plaques. Die bekannten, anderer Behandlung trotzenden Fälle zeigen kein anderes Verhalten. Gegen Rezidive ebensowenig Schutz wie bei der bisherigen Therapie. Indiziert erscheinen mit Rücksicht auf die durch die expeditive Technik zwar sehr reduzierte, aber noch immer zu beachtende Gesamtbestrahlungszeit (siehe unten) die hartnäckigeren Fälle. Doch ziehen viele Kranke die Bestrahlung in jedem Fall der lästigen Salbenbehandlung vor.

Gesamtbestrahlungszeit: 3—10 Minuten pro Herd, für Rumpf und Streckseiten bei universeller Psoriasis zusammen ca. 7 Stunden.

Verlaufsdauer: 1 Monat.

9. Veruca.

Indikation. Zahlreiche gruppenförmig angeordnete Warzen. Einzelne besser mit Radium.

Gleichmäßigkeit: Wegen Kleinheit belanglos.

Schutz des Gesunden: Wegen der Höhe der Dosis wichtig.

Applikationsart: In dosi refracta; die Hälfte in Wochenabstand, oder in dosi plena.

Dosis: 8 H.

Latenz: 2 Wochen.

Reaktion: 2°.

Verlauf: Ausstoßung.

Indikation: Vermeidung der Exkochleation (unser Material bestand ausschließlich aus Chirurgen).

Gesamtbestrahlungszeit ca. 20 Minuten.

Verlaufsdauer: ca. 1 Monat.

10. Scrophuloderma.

Gleichmäßigkeit: Minder wichtig.

Schutz der geunden Haut: gewöhnlich.

Applikationsart: 1 mal in dosi plena, 3—5mal nach Ablauf der Reaktionen zu wiederholen.

Dosis: 3—5 H.

Latenz: 2 Wochen.

Reaktion: 2°.

Verlauf: Die bekannte Torpidität des Prozesses verschwindet rasch sowohl nach Aussehen als nach Verhalten. Auch die subkutanen Knoten und die befallenen Drüsen schrumpfen, die gereinigten Geschwüre überhäuten sich, die Fistelgänge veröden. Auch zentral erweichte Knoten bedürfen keiner chirurgischen Eröffnung.

Gesamtbestrahlungszeit: zirka 30—90 Minuten.

Verlaufsdauer: 3—5 Monate.

11. Lupus vulgaris.

1. Flache, distinkte Lupusknötchen zeigende Form mit wenig veränderter Haut ist kontraindiziert. Sie bessert sich nicht deutlich, dagegen tritt Hautatrophie ein.

2. Flache ulzerierte Form

Gleichmäßigkeit: Wichtig.

Schutz des Gesunden: 1 cm im Gesunden.

Applikationsart; 1mal in dosi plena, 1—2mal nach Ablauf der Reaktion bis zur Überhäutung zu wiederholen.

Dosis: 3 H. als Vorbereitung zur Finsenbehandlung, sonst 4 H.

Latenz: 8 Tage.

Reaktion: 2°.

Dauer: 3 Wochen.

Verlauf: Rasche Überhäutung, dadurch Zustand wie unter 1. Weitere Röntgenbehandlung kontraindiziert wie dort, insbesondere, wenn Finsenbehandlung folgen soll.

Gesamtbestrahlungszeit: 15—30 Minuten.

Verlaufsdauer: ca. 2 Monate.

3. Hypertrophische Form mit und ohne Ulzeration.

Gleichmäßigkeit: Minder wichtig.

Schutz des Gesunden: 1 cm im Gesunden.

Erste Applikationsart. In dosi refrakta (seltener verwendet, vielleicht besser); 14tägig die halbe Dosis durch 2—4 Monate, bis zu bedeutender Abflachung, dann Pause. Das Verschwinden aller entzündlichen Erscheinungen abwarten. Eventuell Wiederholung.

Dosis: 4 H.

Reaktion: 2°.

Verlauf: Anfangs rasche Überhäutung und Abflachung, dann Verlangsamung der letzteren. Wenn im Hautniveau, ist die weitere Behandlung kontraindiziert (ad Finsen).

Zweite Applikationsart: In dosi plena, 5—10mal in Monatsabständen.

Dosis: 3—5 H.

Verlauf: Wie oben beschrieben, Effekte stets die beschriebenen, wesentliche Besserung, fast Heilung, jedoch ohne Finsen auch bei Fortsetzung der Behandlung nur selten wirkliche Heilung.

Gesamtbestrahlungszeit: 1—1½ Stunden.

Verlaufsdauer: 5—10 Monate.

12. Hypertrichosis.

Die Radiotherapie derselben ist im Verschwinden begriffen. Wo eine höchstgradige Entstellung besteht, kann dagegen die minderarge der atrophischen Haut eingetauscht und so immerhin noch einiger Segen gestiftet werden. Eine Reihe anderer Hauterkrankungen stehen im Versuchsstadium und sollen hier nicht erwähnt werden.

Innere und chirurgische Erkrankungen.

Nachtrag zur Technik: Gleichmäßigkeit in der Tiefe.

Auf tiefliegende pathologische Gewebe kann selbstverständlich nur der geringe Teil der Strahlung einwirken, welcher in den oberflächlichen nicht absorbiert wird. Da jede Schicht nur einen Teil des in sie aus der vorigen einstrahlenden Lichtes absorbiert, nehmen die deponierten Mengen nach der Tiefe zu ab, und um große Mengen in die Tiefe zu bringen, müßte man es hinnehmen, noch größere den oberflächlichen normalen Schichten zu geben und sie damit eventuell zu zerstören. Ihre Integrität schränkt daher bei Anwendung der bisher geschilderten Technik die in der Tiefe erreichbaren Dosen so ein, daß nur wenige tiefe Prozesse und Einzelfälle eine nennenswerte Beeinflussung erfahren würden. Die Tiefenverteilung des Lichtes ist eine ungünstige. Sie kann günstiger gemacht werden:

1. Durch Erhöhung der Penetrationskraft.
2. Anwendung von Filtern.
3. Durch Vergrößerung der Fokushautdistanz.
4. Durch Bestrahlung von mehreren Seiten.

Man kann darin verschieden weit gehen und erhält vollständige Gleichmäßigkeit in der Tiefendimension*) („Homogenität" — Wort und Begriff von Dessauer), wenn man einen 20 cm im Durchmesser haltenden Körper vom spez. Gewichte des Wassers oder der Weichteile von 4 Seiten her mit harter Röhre

*) Diese Erörterungen schließen sich daher an Kap. C. pag. 297 an.

aus einer Entfernung von 2 Meter durch eine Fensterglasscheibe als Filter bestrahlt. (Holzknecht und Schmidt.)

Ad. 1. Sehr harte Röhren; für sie gilt das unter A (pag. 295) gesagte. Die Lichtmengen sind dabei gering, noch am größten bei Wechselstrombetrieb mit Gleichrichter und großen Röhren z. B. von H. Bauer.

Ad. 2. Fensterglasscheiben (1.5—1.75 mm dick), mehrere Lederschichten etc. „filtrieren die absorbierbarere Strahlung des immer aus einem Strahlengemisch bestehenden Lichtes ab, schwächen so aber die gesamte Lichtmenge". (Perthes.)

Ad. 3 Die Lichtintensität nimmt mit der Entfernung stark quadratisch ab. Bei naher Röhre spielt diese Abnahme schon innerhalb des Körpers eine Rolle. (Perthes.)

Ad. 4. Mit den unter 1 bis 3 genannten Mitteln erzielt man bei Anwendung der im obigen Beispiel angegebenen Massen in 10 cm Tiefe des Körpers erst etwas über ¼ der in der ersten Schicht deponierten Menge und in dieser Tiefe erhält man erst die volle der Oberfläche gleiche Menge, wenn man sie von 4 Seiten her, jedesmal durch andere Oberflächenschichten nach der gleichen zentralen Partie schickt.

Wählt man die obigen Masse noch weiter oder hat der Körperteil kleinere Dimensionen als im obigen Beispiel, so erhalten die zentralen Partien noch mehr Licht als die Oberfläche Zentralbestrahlung (Holzknecht) im Gegensatz zur Oberflächen- und Homogenbestrahlung.

Jedes einzelne der Hilfsmittel, die Tiefenverteilung zu verbessern, verlängert die Behandlungszeit derart, daß beispielsweise zur Deponierung einer Menge in der Achse des Rumpfes, die für die Haut in einmaliger 15 Minuten langer Bestrahlung erreicht ist, 50 bis 100 Stunden nötig sind, Grund genug, die Bestrahlung mit mehreren, bis 8 Induktoren und Röhren gleichzeitig vorzunehmen (Holzknecht).

Doch läßt sich schon bei weniger weitgehender Verwendung obiger Mittel wesentlich Besseres als bei der für die Dermatosen geschilderten Technik erreichen, z. B. schon durch Verwendung des Glasfilters allein, das auch, wie verständlich ist, bei oberflächlicher Bestrahlung einen weitgehenden Schutz gegen unbeabsichtigte Hautreaktionen bietet; dann zunächst durch Bestrahlung von mehreren Seiten her, die schon längst üblich war; ferner durch wohl etwas größere, etwa doppelt so große, Fokushautdistanzen als die geläufigen.

Die Dosierung gestaltet sich wie bei den Dermatosen: Man

mißt die Oberflächendosis; nur daß der Reagenzkörper innerhalb des Filters zu liegen kommt oder mit dem gleichen Filtermaterial bedeckt wird. Sie richtet sich nicht nach der Empfindlichkeit des zu beeinflussenden Gewebes, sondern nach der zu schonenden Hautdecke, welcher keiner entzündlichen Reaktion auszusetzen ist, und der regionären Empfindlichkeit dieser. Die Dosen pro mense sind daher am Rumpf unter 5 H. am Kopf unter 3 H zu wählen.

13. Die lymphoide und myeloide Leukaemie.

Die heute unzweifelhafte Wirkung besteht darin, daß die lokalen Veränderungen der Leukaemie, die Milz- und Drüsenschwellung auf die Bestrahlung derselben hin rapid verschwinden, daß sich gleichzeitig der Blutbefund der Norm nähert und das Allgemeinbefinden die Norm erreicht. Rezidive erscheinen nach 3 Monaten bis 1 Jahr. Verfasser selbst verfügt über 30 Fälle.

Gleichmäßigkeit: Minderwichtig.

Schutz des Gesunden: Nur bei Inguinaldrüsen das Skrotum, dann Gesicht und Kopf; sonst überflüssig.

Applikationsart: Die infiltrierten Organe Milz, Leber, Drüsen, Knochenmark, letzteres an den spongiösen Teilen, Sternum, Wirbelsäule, hintere Beckenwand, Knie, Füße, oder Allgemeinbestrahlung.

Applikationsart: In dosi plena.

Dosis: 3—5 H.

Latenz: Einige Tage bis 1 Woche.

Verlauf: Wie oben beschrieben. Örtlich nach 2 Monaten spurenweise Hautbräunung.

Gesamtbestrahlungszeit: Jede Stelle 10—20 Minuten.

14. Chlorom.

Der Leukaemie verwandt, zeigt es gleiche Beeinflussung und wird ebenso behandelt.

15. Sarkom.

Unter vielen hundert behandelten Fällen nicht operabler Sarkome jedes histologischen Baues haben die meisten (Technik wie beim Karzinom) nur die beim Karzinom zu schildernde palliative Beeinflußbarkeit gezeigt. Zirka 20%, zeigen eine Empfindlichkeit, welche bei Homogenbestrahlung Aussicht auf bedeutenden Erfolg gibt. Einzelne aber, ein kleiner Prozentsatz, erwies sich als ungemein empfindlich, indem die Tumoren auf eine einzige mittlere Dosis hin

verschwinden. Unter diesen waren sehr maligne, rasch wachsende Lymphosarkome in der Überzahl, aber auch Rund- und Spindelzellen-Osteosarkome und andere, so daß aus dem Bau kein Anhaltspunkt für die Indikationsstellung gewonnen werden kann. Daher erscheint es notwendig, bei jedem inoperablen Sarkom eine Probebestrahlung vorzunehmen, die empfindlichen reagieren ja schon auf eine einzige mittlere Dosis mit unverkennbarer Verkleinerung, oder besser eine einmonatliche Behandlung.

Technik: Der Probebestrahlung einer Stelle wie bei Leukämie, der größere Versuch und die Durchführung homogen.

Was die Lokalisation anbelangt, ist es auffallend, daß unter den günstig verlaufenden sich relativ viele mediastinale Tumoren befanden, sei es, daß die nur scheinbar schlechte, in Wahrheit wegen der gut durchlässigen Lunge hingegen günstige Lage, sei es, daß die besondere Art (Thymussarkome, Sarcom der Lymphdrüsen) daran ursächlich beteiligt ist.

16. Die Pseudoleukaemie, die unter dem Bilde der Pseudoleukaemie verlaufende Lymphdrüsentuberkulose (Sternberg) und die skrophulöse Lymphadenitis

mögen hier deshalb unter einem besprochen werden, weil ihre sichergestellte Empfindlichkeit ungefähr die gleiche ist. Sie ist viel geringer als bei der Leukaemie; man erreicht mit denselben, die Haut intaktlassenden Dosen kein Verschwinden, sondern nur eine Verkleinerung bis auf einen wechselnden Bruchteil. Für die drittgenannte kommt die Bestrahlung, wenn durch Verbackensein der Drüsen die operative Behandlung erschwert ist, auch deshalb in Betracht, weil die einmal bestrahlten Drüsen sich durch Verkleinerung isolieren. Anderseits können, wo Fisteln und Skrophuloderma (siehe dieses) besteht, auch höhere Dosen und häufigere Bestrahlungen angewandt werden.

Technik: Annähernd homogen.

17. Struma parenchymatosa.

Auf die Bestrahlung hin erfolgende Verkleinerung tritt regelmäßig ein, erreicht aber nur selten einen hohen Grad. Deshalb, und weil sehr häufige Wiederholung die Hautatrophie hervorrufen würde, ist die Behandlung, wo nur Cosmetik in Frage kommt, nicht indiziert. Dagegen scheint das erreichbare Maß von Verkleinerung anderen Indikationen zu genügen, denn vorhandene Kompressionserscheinungen gehen meist erheblich zurück und es ist häufig, daß dadurch die Strumektomie umgangen werden kann.

Technik: Struma von vorn inklusive obere Sternalhälfte (retrosternale Anteile) von rechts und von links her je 3—5 H, Filtration. Beurteilung nach den sekundären Erscheinungen. Messung ist unzuverlässig.

18. Morbus Basedowii.

Ein neuer Beweis für die thyreoide Ätiologie der Affektion: es tritt auf Bestrahlung der Schilddrüse in der Mehrzahl der Fälle Besserung aller Erscheinungen ein. Die Wirkung ist eine derartig einschneidende, daß das schwerste Symptom des Basedow, das Zeichen seiner Progredienz, die Abmagerung, wo sie besteht, sofort sistiert wird. Die Kranken nehmen oft in einigen Wochen nach der ersten Bestrahlung um mehrere Kilogramm zu. Ersatz von früheren Gewichtsverlusten bis zum Betrage von 20 kg wurde beobachtet. Dann treten allmählich die Augen-, Herz- und Nervensymptome zurück, Vorreaktion ist häufig.

Technik: Wie bei Struma parenchymatosa.

19. Das inoperable Karzinom.

Es existieren nur wenige Fälle von Heilung bei echten tiefgreifenden Haut- oder Schleimhautkarzinom im Gegensatze zum Ulcus rodens (siehe 1). Da die an den oberflächlichen Schichten beurteilte Empfindlichkeit nun ebenso groß zu sein scheint, wie bei dem so günstigen Epitheliom der Haut, so ist es wahrscheinlich, daß für viele Fälle blos die Tiefe das Hindernis für die volle Entfaltung der Wirkung ist.

Es bleibt somit ohne vollkommene Homogenie nur die immerhin sehr erhebliche palliative Wirkung, und zwar wird die Indikation durch die prompte Sistierung des Karzinomschmerzes und die oberflächliche Sanierung bei Ulceration und Stauchung bei inoperablen Fällen bezeichnet, wodurch recht großer Segen gestiftet wird. Die Erfolge der neuen Homogen- und Zentralbestrahlung.

Gleichmäßigkeit: Minder wichtig.

Schutz: Wichtig.

Applikationsart: in dosi plena in vier, bei achtwöchentlichen Abständen, oder besser in dosi refrakta (vierzehntägig halbe Dosen).

Dosis: 4—6 H.

Ich kann den speziellen Teil nicht schließen, ohne den Gedanken zu wehren, daß es schwer verständlich sei, wie ein und dasselbe Agens gegen so heterogene Prozesse, wie die hier besprochenen, eine oft geradezu spezifisch erscheinende Wirkung auszuüben vermag. Die Erklärung führt uns zu dem ersten Satz

der Grundlagen zurück. Jede lebende Zelle, von Röntgenlicht getroffen, erkrankt, und zahlreiche pathologische Zellen und Gewebe zeigen eben für dieses Agens, das unentwegt bis zu ihnen heran und in sie einzudringen vermag, eine geringere Widerstandsfähigkeit als die Gesunden. Der Organismus gewinnt dann wieder die Oberhand über den fremdartigen Schädiger, und darum werden wir uns nicht wundern, wenn vorsichtige und planmäßige Versuche den Kreis der Indikation in Zukunft noch mehr erweitern werden.

Als Lehrbuch der Röntgentherapie sind Kienböck, die Radiotherapie, Enke, Stuttgart 1907 und Wetterer, Kompendium der Röntgentherapie, vor allem empfehlenswert.

Erklärung der Tafelfiguren

zu Kapitel I, Klinischem Teil:

Die radiologische Diagnostik in der inneren Medizin

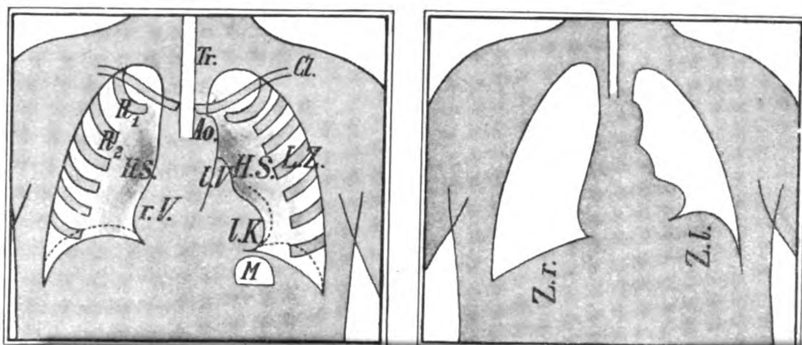
von Dozent Dr. G. Holzknecht.

Die Figuren sind als Verkleinerungen von Schirmpausen, zum Teil aus mehreren Pausen komponiert zu denken. Die meisten sind bei dorsoventralem Strahlengang gewonnen, also rechts und links vom Bild, nicht vom Beschauer, aus orientiert. Diese Projektionsrichtung bedingt überdies scharfe schmale Claviculaschatten und lange Schatten der in Figur 1 eingezeichneten vorderen Rippenspangen. Diese und die hinteren sind in den meisten Bildern weggelassen.

Figur 1. Im Stehen l. K. = l. Kammer; der punktierte größere Bogen stellt die Lage des Herzens im Liegen dar. r. V. = rechter Vorhof, l. V. = l. Vorhof. Ao. = Aortenwölbung des Mittelschattens, der rechts durch die Cava descendens mit vertikalem Rand begrenzt wird. H. S. = Hilusschatten mit seinen zwei Hauptästen nach oben und unten. L. Z. = die feinen Ausläufer des Hilusschattens (Drüsen, Gefäße, Bronchien), welche normaler Weise allmählich abnehmend die ganzen Lungenfelder durchziehen, aus Gefäß- und Bronchialschatten bestehen und Lungenzeichnung heißen. (Siehe auch Figur 5.) R_1, R_2 = vordere Rippenspangen. Cl. = Clavicula. Tr. = Schattenaussparung der Trachea. Die punktierte Linie über den beiden Zwerchfellhälften = Stand des Zwerchfells im Liegen. M. = gasgefüllte Pars cardiaca des Magens.

Figur 2 (von der Seite zu betrachten). Thorax in linker Seitenlage: Hochstand der linken, stark gekrümmten Zwerchfellhälfte (Z. l.). Tiefstand und Abflachung der rechten (Z. r.). In Seitenlage atmet die Zwerchfellhälfte, auf der wir liegen, in maximalen Exkursionen, die andere steht inspiratorisch still. Das Herz wie bei jedem Hochstand der linken Zwerchfellhälfte quer gestellt.

Figur 3. Dislokation des ganzen Mediastinum (C = Cor;


Tr.
Cl.
R1
R2
Ao.
H.S.
H.S.
L.Z.
U.V
r.V.
l.K.
M
Z.r.
Z.l.

Tr. = Trachea; der Aortenbogen verschwunden, die Wirbelsäule bildet den Rand des Mittelschattens) nach links durch das schrumpfende Infiltrat J (Tuberkulose). Die rechte Lungenspitze wird vollständig durch eine Caverne eingenommen. Links ist der Hilusschatten vermehrt (Drüsenschwellung und Peribronchitis; die Lungenzeichnung nimmt peripher nicht gleichmäßig ab, sondern an mehreren Stellen wieder zu: Infiltration (J. J.). Ein Infiltrationsherd im Zentrum des Oberlappens enthält zwei Cavernen, von denen die obere leer, die untere zu zwei Dritteilen Sekretgefüllt ist und das scharf lineare in allen Körperstellungen horizontale Niveau zeigt.

Figur 4. Verschieden hohe pleurale Ergüsse und die Lage ihrer oberen Grenze. Verschieden starke Dislokation des Mittelschattens nach rechts. Dislokation des Zwerchfells nach unten, Umkehrung seiner Krümmung (Z); Dislokation des Magen (M) und Einstülpung seiner gasgefüllten Pars cardiaca (Kohlensäureblähung).

Figur 5. Kompletter Pyopneumothorax links mit Verziehung des Mittelschattens nach rechts durch den jetzt überwiegenden Retraktionszug der rechten Lungen, Verdunkelung und zirkumskripte Herdschatten des rechten Lungenfeldes. Die rechte Zwerchfellhälfte macht große respiratorische Exkursionen (J, E). Links oben außen Fehlen der Lungenzeichnung, abnorme Helligkeit (Pneumothorax); links oben innen der kollabierte Lungenstumpf, ziemlich groß (Infiltrate beherbergend). E Erguß in Exspirationsstellung, J in Inspirationsstellung (parodoxe Atmung). Das Niveau des Ergusses bei gleich hoher Röhrenstellung scharf linear, auf Erschütterung wellenschlagend, in allen Körperlagen horizontal (a b links geneigt, c d rechts geneigt). Linke Zwerchfellhälfte tiefstehend und nach unten konvex. (Ursache der paradoxen respiratorischen Bewegung.) Magen wie in Figur 2.

Figur 6. Vollständige, massive Infiltration des rechten Oberlappens (Pneumonie). Die übrigen Lappengrenzen beider Lungen sind punktiert eingezeichnet, soweit sie sich an der vorderen Lungenoberfläche als Linien präsentieren. Ihre Flächen liegen nur zwischen rechtem Ober- und Mittellappen horizontal, weshalb nur hier die Lappeninfiltrationen einen scharfen Schattenrand zeigen, die übrigen verlaufen schräg von hinten oben nach vorn unten und daher verklingen die übrigen Ränder der Lappeninfiltrationsschatten allmählich. Stellt man die Röhre aber entsprechend hoch oder tief, so sind auch diese Ränder scharf (Lappengrenzsymptom).

An der linken Zwerchfellhälfte sind die Unterschiede der Zwergfellexkursion bei obliterierter und freier basaler Pleurahöhe eingezeichnet. Die ausgezogenen Linien stellen die in- und

exspiratorische Exkursion unter normalen Verhältnissen dar: Senkung mittelst Verschiebung parallel zu sich, ohne Abflachung, mit Verschiebung aber ohne Vergrößerung des Winkels zwischen Zwerchfell und kostaler Thoraxwand. Erst bei tiefster Inspiration tritt Abflachung des Zwerchfells und Vergrößerung des phrenikokostalen Winkels ein.

Die quer gestrichelten Linien stellen das Zwerchfell in 3 verschiedenen tiefen Inspirationsphasen bei obliterierter basaler Pleurahöhle dar: phrenikokostaler Winkel ständig an Größe wechselnd, sein Scheitel unverschieblich.

Figur 7. Verschiedene Formen des Mittelschattens bei Herzerkrankungen:

- - - - Kardiale Stauung (Dehnung der Vorhöfe und großen Venen); links die ähnliche Kontur weggeblieben.

.... Gleichmäßige Vergrößerung des Herzschattens mit plumper Herzspitze, Dilatation des ganzen Herzens, Hypertrophie des Kammerkegels.

- · - · - · - Dehnung des rechten Vorhofes (vergl. Figur 1), große linke mittlere Verwölbung, gebildet durch die gedehnte Arteria pulmonalis bei kongenitalem Vitium.

Figur 8. Typische Sitze und Formen der Aneurysmen:

-|-|-|-|-|-|-|-|-|- des Bogens (links oben über die normale Höhe des Aortenbogens der 2 Querfinger unterhalb der Klavikula liegt, hinausragend, kreisrund).

- · - · - · - Der Aorta ascendens (rechts, in mittlerer Höhe des Thorax) und abgerundeter unterer Ecke.

- - - - - - - Der Aorta descendens (links, in mittlerer Höhe), den Aortenbogen nicht überragend (in der Figur falsch eingetragen), kugelförmig.

.... Der Arteria anonyma (rechts, hoch oben, kugelig).

Figur 9. Die dorso-ventrale, links exzentrische Durchleuchtungsrichtung (Röhre links hinten, Schirm rechts vorn), zeigt das linke und rechte Lungenfeld und das helle Mittelfeld zwischen dem Wirbelsäulen- und dem Herzgefäßschatten. Dieser, unten ohne weiteres verständlich (Kammern, Vorhöfe), trägt oben das zwei querfinger breite Aortenband, durch Deckung von A. ascendens und descendens entstanden.

- · - · - · - Diffuse Aortendehnung, erst in dieser Richtung als solche erkennbar, weil sie in postero-anteriorer das Bild des Bogenaneurysma (Fig. 8) gibt, nebst der flachen Vorwölbung in mittlerer Höhe rechts, welche die genannte Figur zeigt.

- - - - - - Aneurysma der Aorta ascendens und descendens (Kappenform).

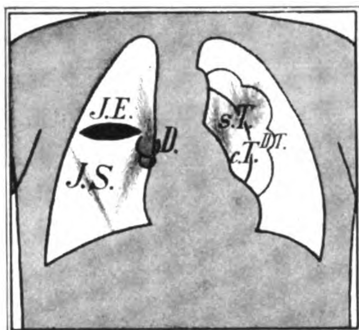


Fig. 11.

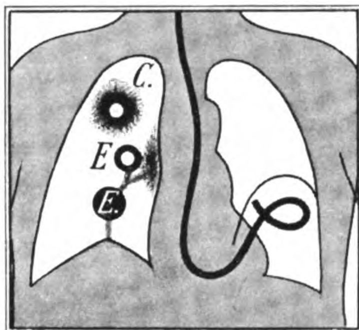


Fig. 12.

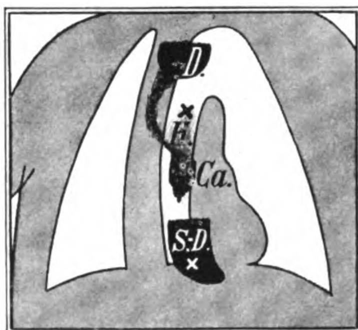


Fig. 13.

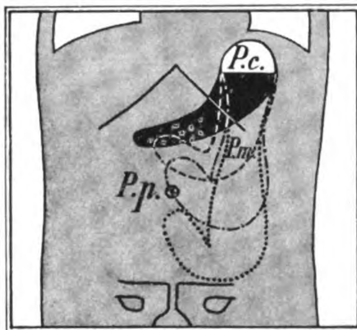


Fig. 14.

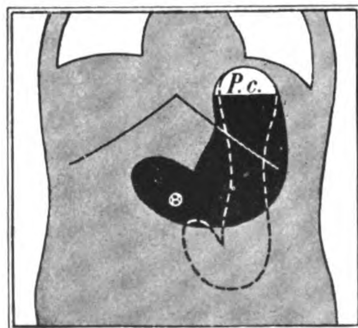


Fig. 15.

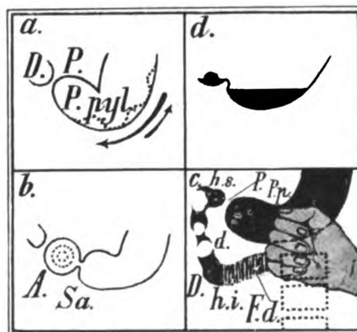


Fig. 16.

– – – – Aneurysma des Bogens (Keulenform), aufrecht oder links oder wirbelsäulenwärts geneigt.

Figur 10. Die quere, hier dextrosinistrale Durchleuchtungsrichtung enthält nur zwei helle, unscharf begrenzte Stellen, das Retrosternalfeld (R. S. R.; ein sphärisches Dreieck, Grenzen Sternum, Cor, Latissimus dorsi), und den Retrokardialraum (R. C. R., ein Viereck), vom Herzen, Zwerchfell und der Wirbelsäule begrenzt.

-|-|-|-|-|-|-|-|- An = Bogenaneurysma, zum Teil den Retrosternalraum einnehmend, E = kleinster Erguß im hinteren Pleurasinus.

Figur 11. Thoraxbild mit den eingezeichneten Schatten verschiedener Affektionen:

J. E. = Interlobärer Erguß zwischen rechtem Ober- und Mittellappen.

J. S. = Interlobäre Schwarte zwischen rechtem Unter- und Mittellappen.

D. = Intumescenz des rechten Hilusdrüsenschattens.

D. T. Aus einzelnen Elementen zusammengesetzter Mediastinaltumor.

s. T. Einheitlicher, solider Mediastinaltumor.

Figur 12. C = scharf kreisförmig durchlochter Herdschatten = Caverne.

E = Ecchinoccenblasen, die eine solid, mit Verbindungsstrang nach der Zwerchfelloberfläche ihre Abkunft vom Leberecchinoccus beweisend, die andere luftgefüllt, nach Durchbruch in einen Bronchus, beide oberflächlich scharf begrenzt, wie metastatisches Lungen-Karzinom, im Gegensatz zur Caverne und den übrigen Herdschatten der Lunge.

Sonde im Ösophagus und im Magen, der zum Inhalt einer Zwerchfellhernie geworden ist.

Figur 13. Postero-anteriore, links exzentrische Durchleuchtungsrichtung. Das helle Mittelfeld (siehe Text zu Fig. 9) enthält das hintere Mediastinum. Vier Abweichungen des Ösophagus von der normalen Funktion und Lage nach Verabreichung breiiger Wismuthingesten.

D = Divertikel, unten gleichmäßig gerundeter Sack ohne Abfluß.

X = Tumor mediastini, hier nicht eingezeichnet mit Verdrängung des Ösophagus.

Ca = Stenose des Ösophagus ohne nennenswerte Dilatation darüber.

S. D. Unterster Abschnitt einer großen spindelförmigen Dilatation des Ösophagus bei Spasmus cardiae.

Figur 14. Ausgezeichnete Figur: Normaler Magen, (Pylorus tiefster Punkt, keine Hubhöhe).

----- Viel häufiger vorkommende Grundform des ptotischen Magens ohne Längsdehnung. Pylorus nicht der tiefste Punkt.

-·-·-·- mäßig hochgradige,

·· ···,····· hochgradige Ptose.

P. p. = pars pylorica.

P. c. = pars cardiaca.

P. m. = pars media.

Figur 15. ----- Längs gedehnter, ptotischer Magen, tiefster Punkt, Handbreit unter dem Nabel, vertikal gestellt, mit enger Pars media. Schwarz getont = Quer gedehnter Magen bei chronischer Pylorusstenose.

Figur 16. Normaler Magen, aktive und passive Motilität in der pars pylorica.

a) P. pyl. = Konturen des Füllungsbildes der pars pylorica.

D = Füllungsbilder des an den Pylorus grenzenden Abschnittes des Duodenum.

P = Füllungsfreie Stelle zwischen Magen und Duodenum, dem Pylorus entsprechend. Sie ist unveränderlich im Gegensatz zu einer peristaltischen Abschnürung des Magens.

+ ··········· Eingezeichnete peristaltische Einziehungen an Tiefe gegen den Pylorus zunehmend.

←– – Richtung in der diese peristaltischen Wellen verlaufen.

——→ Antiperistaltische Richtung (Stenosen Crises gastriques).

b) Pars pylorica.

Sa. Vertiefung der Peristaltik bis zur vollkommenen Abschnürung des Magens an typischer Stelle: Sphinkter antri.

A. Antrum zwischen Sphinkter antri und Pylorus mit eigenartiger konzentrischer Peristaltik.

c) Effleurage des Mageninhaltes ins Duodenum. Abrollen des Rückens der rechten Faust über den Mageninhalt auf der Wirbelsäule.

P. p. pars pylorica; P = Pylorus; hs = pars horizontalis superior duodeni; d = pars descendens; h. i. = pars horizontalis inferior. Im Duodenum mehr minder rasch peristaltisch fortbewegter Inhalt aus effleuriertem Mageninhalt und Gasblasen bestehend.

d) Die baggerartige Wirkung der Peristaltik auf kleinen Inhalt, gezeigt an etwas Wismuth-Wasseraufschwemmung und einer wismuthgefüllten Gelatine-Kapsel.

Figur 17. Zur Differenzialdiagnose der Extra- und Intraventrikularen Lage von Tumoren, Druckempfindlichkeit, klinisch nachweisbare Peristaltik, Steifung, Blähung etc.

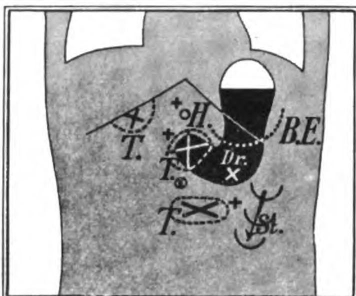


Fig. 17.

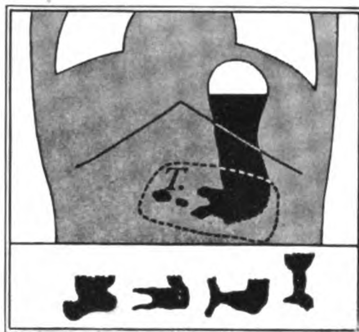


Fig. 18.

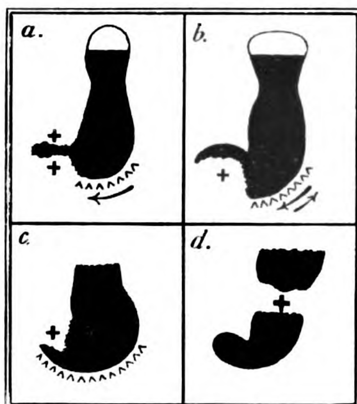


Fig. 19.

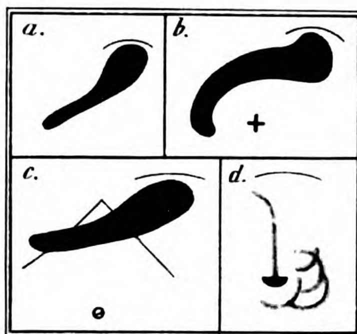


Fig. 20.

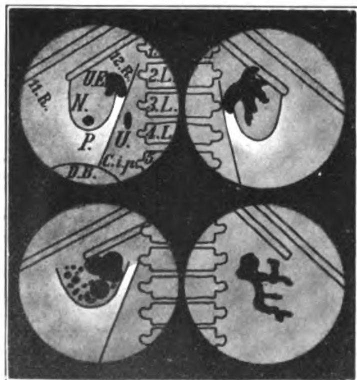


Fig. 21.

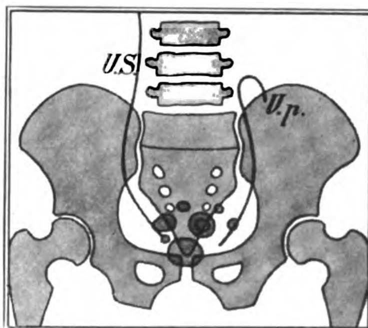


Fig. 22.

B. E. ········· caudaler Pol des Magens bei eingezogenem resp. eingedrückten Abdomen, durchschnittlich handbreit höher als die normale Lage im Stehen.

××× Dr. = Druckempfindliche Stellen.

×× T. Palpable Tumoren.

(— —➤ Steifung und Peristaltik, welche teils evident extraventrikulär liegen, teils ihre Lage zum Magen beim Baucheinziehen oder manueller seitlicher Dislokation des Magens deklarieren.

Figur 18. Zirkulärer Tumor der pars pylorica: Füllungsdefekt und palpapler Tumor zusammenfallend. Darunter pathologische Antrumperistaltik der teilweise freien Wand.

Figur 19. Verschiedener Sitz von Tumoren im Magen, gekennzeichnet durch die Lage der Füllungsdefekte.

∧∧ —➤ ◄- - = Peristaltik.

a) Zirkulärer Tumor der pars pylorica.

b) Tumor der großen Kurvatur der pars pylorica.

c) Tumor der kleinen Kurvatur der pars pylorica.

d) Zirkulärer Tumor der pars media (Sanduhrmagen).

Figur 20, a) Abnorm kleiner Magen vom Normaltype abstammend (Inanition, Skirrhosis ventriculi, Skirrhus).

b) Durch großen Tumor in der unteren Bauchhälfte (Gravidität etc.) verdrängter Magen.

c) Verziehung des Magens durch schrumpfende Prozesse an der porta hepatis.

d) Gastroenteroanastomose. Der Mageninhalt fließt, wenn die Fistel nicht vor Einnahme komprimiert wird, sofort nach Erreichen des caudalen Poles in Dünndarmschlingen aus.

Figur 21. Nephrolithiasis. Kompressionsblendenaufnahmen.

L = Lendenwirbel, R = Rippe.

DB. = Darmbein.

P. unterer Pol des Nierenschattens.

C. i. i. p. Caput iliacum des Ileopsoas.

U. E. Pfeifenkopfförmiger Uretereingangsstein.

N. Spindeliger Ureterstein, links kugelige und rechts unten korallenartige Parenchymsteine, rechts oben Beckenausgußsteine.

Figur 22. Blasensteine, der eine geschichtet mit dichterem Kern.

U. S. = Sonde in den Ureteren.

U. p. Uretersonde bei Nephroptose.

ANHANG.

Das photographische Verfahren.

Von Ing. Friedr. Dessauer.

Es handelt sich im Nachfolgenden nicht darum, in gleicher Ausführlichkeit wie bei der Erläuterung der technischen Grundlagen, eine gewissenhafte Darstellung der Vorgänge auf der Platte zu geben, es soll vielmehr dieser Anhang insbesondere für den Anfänger eine kurze Anleitung sein, wie man entwickelt und die Bilder taxiert.*)

1. Die Schichtträger. Die zur Röntgenaufnahme dienende phothographische Platte besitzt eine licht- und strahlenempfindliche Schicht, die sogenannte Emulsion, welche das Bromsilber in Gelatine gebettet trägt. Die empfindlichsten Röntgenplatten entstammen der Trockenplattenfabrik A. G. vorm. Dr. Schleußner Frankfurt a. M. Die Empfindlichkeit dieser Platten überwiegt weit die aller anderen, und trotz aller Versuche ist es nicht gelungen, ihnen in dieser Beziehung gleich zu kommen.

In zweiter Linie sind die Röntgenplatten von Lumière, Kranseder & Co., München, zu erwähnen.

Als Schichtträger dient statt der Glasplatte auch eine Zelluloid-Folie; solche dünne, leichtbewegliche und unzerbrechliche Schichtträger, sogenannte Films, werden zu speziellen Aufnahmen — Zähne, Kiefer — benutzt. Sie sind stets weniger reaktionsfähig, weniger empfindlich für Röntgenstrahlen.

Die X-Strahlen werden in der Schicht nur zum geringen Teile absorbiert. Nur die absorbierten Strahlen aber bringen eine chemische

*) Die ausführlichste Darstellung aller photographischer Hilfsmethoden findet sich in dem Handbuche: Kompendium der Röntgenographie von Dessauer und Wiesner bei Otto Nemnich, Leipzig.

Reaktion hervor, die dann zur Bilddarstellung dient. Es lag also der Gedanke nahe, die Schicht möglichst dick zu machen.

Früher wurde nach einem Patente von Dr. Max Levy die Platte auf beiden Seiten mit empfindlicher Schicht belegt, doppelseitig emulsioniert. Dasselbe Bild sollte auf beiden Seiten entstehen. Wegen der relativ beträchtlichen Dicke und Undurchlässigkeit des Glases für X-Strahlen hat sich diese „Röntgenplatte" indessen nicht bewährt.

Dr. Schleußner emulsioniert einseitig mit doppelter, d. h. extra dicker Schicht, und die so hergestellten Platten sind die empfindlichsten, da sich die Projektionen der einzelnen übereinanderlagernden Schichttiefen verstärken.

Es ergibt sich aber zugleich als Regel für die Entwicklung derartig dick emulsionierter Platten, daß man sie sehr viel länger dem Entwickler aussetzen muß, als gewöhnliche Platten. Es muß so lange die Hervorrufungs-Flüssigkeit auf die Platte wirken, bis die tiefsten Schichtteile genügend durch sie alteriert sind, bis auch die minder belichteten Teile deutlich auf der Rückseite (Glasseite) der Platte sichtbar sind. Das kann, je nach der Art des Objektes, dem Charakter der Röhre, ihrem Abstand von der Platte, der Röhrenbelastung, der Art und Konzentration des Entwicklers der Expositionsdauer sehr verschieden dauern, bis zu 1/2 Stunde beim Becken eines Erwachsenen.

Die Platten werden zur Aufnahme entweder in besonders konstruierte Kassetten gelegt oder einzeln in schwarzes Papier gepackt (sogen. Einzelpackung). Die Anordnung des Objektes, der Platte und Röhre ist in früheren Abschnitten dargelegt.

Mit Rücksicht auf die folgende Entwicklung merke man sich, daß nicht zu harte Röhre, genügende Exposition bei mäßiger Röhrenbelastuug und vollkommene Ruhe des durch Sandsäcke und Blende fixierten Objektes die Grundbedingungen für jede Aufnahme sind. Je dünner das Objekt, desto geringer kann der Abstand gewählt werden, ohne daß die Verzeichnung der Randpartien sehr störend wirkt. Je näher man aber an die Platte mit der Röhre herangeht, desto besser wird das Bild, desto kürzer die notwendige Belichtungsdauer, denn die Wirkung der X-Strahlen nimmt ab mit dem Quadrate der Entfernung.

2. Das Entwicklungszimmer.

Das Entwicklungszimmer hat hauptsächlich der einen Anforderung absoluter Lichtdichtigkeit zu genügen. Bei der abnormen Empfindlichkeit der Röntgenplatten genügt schon der kleinste durch einen Spalt eindringende Lichtstrahl unter Umständen, um alle unsere Mühe vergeblich zu machen.

Hat man ein eigenes, mit Wasserzufluß versehenes Entwicklungszimmer zur Verfügung, so ist dies natürlich besser, als die

Entwicklung im Röntgenzimmer selbst. Untunlich ist auch das Ausüben beider Funktionen im selben Raum keineswegs, wenn der Raum gut ventilierbar, der Apparat also vor Feuchtigkeit geschützt ist.

Der vielbeschäftigte Praktiker wird die Entwicklung der Negative meist nicht selbst vornehmen, sondern im Krankenhause einer intelligenten Schwester, sonst einem tüchtigen Photographen überlassen.

Das Dunkelzimmer ist durch rotes Licht, das auf Inaktivität geprüft ist, erleuchtet. Die geringste Spur chemischer Strahlen würde bei Verwendung der sehr empfindlichen Platten gefährlich sein. Man prüft die Qualität der roten Lichtquellen seines Lieferanten, indem man unter Ausschluß sonstigen Lichtes eine frische Platte einige Zeit dem roten Licht aussetzt und sie dann gleichzeitig mit einer frisch aus dem Plattenpacket genommenen entwickelt. Zeigt sie sich wesentlich gegenüber der anderen verändert, so ist das Licht schlecht.

Zur Rotlichterzeugung kann man rote eingesetzte Fenster, Petroleumlampen mit sogenannten Rubinzylindern, elektrisches Licht oder auch Kerzen in roten Laternen benutzen. Am besten ist elektrisches Licht, insbesondere wenn man Regulierschalter zur Einstellung des Helligkeitsgrades hat. Die anderen Arten künstlicher Beleuchtung verschlechtern die Luft zu sehr. Das Licht soll durchaus nicht spärlich sein, wenn es nur sicher unschädlich ist. Die Lichtquelle ist hoch angebracht und wirft ihren vollen Schein auf den Entwicklungstisch. Ein dazwischen angebrachter kleiner Tuchvorhang oder eine Blechscheibe an der Laterne kann in den kritischen Momenten des Einlegens in die Verpackung und in die Entwicklungsschale vorgezogen werden.

3. Die Entwicklung.

Für die Entwicklung ist die erste Bedingung Reinlichkeit, die zweite Geduld. 3 Schalen enthalten die für den Prozeß nötigen Flüssigkeiten. Gut ist ein sogenannter „Entwicklungstisch“, der oben einen Zinkeinsatz hat, über dem die Wasserbrause angebracht wird, während der untere Einsatz des Tisches zur Aufnahme der Schale mit Fixierbad dient.

Die Schale mit Entwicklungsflüssigkeit steht obenauf. Sie kann aus Porzellan, Papiermaché, auch aus Glas sein. Für die Wässerungs- und Fixierschale ist Porzellan der Vorzug zu geben.

Die Größe der Entwicklungsschale richtet sich nach der Plattengröße — man wählt sie nur eben so groß, daß die Platte vollständig auf dem Boden aufliegt, damit kein Entwickler verschwendet wird. Größere Platten als solche vom Formate 24/30 werden nur selten verarbeitet.

Die größte Gefahr der Unreinlichkeit liegt in der Zerstörung des Entwicklers durch Schmutz oder durch Spuren von Fixiernatron. Man reinigt die Entwicklungsschale vor Beginn der Arbeit sehr gründlich in fließendem Wasser. Die Finger bringt man, insbesondere wenn man feuchte Hände besitzt, möglichst nicht in die Flüssigkeit, umsomehr, als die kaustischen Alkalien vieler Entwickler Haut und Nägel stark angreifen. Es gibt eigene Plattenhaken, mit denen man die Platte im Entwickler dirigiert.

Die geringste Spur Fixierbad genügt meist, um den Entwickler zu ruinieren. So kann es z. B. unter Umständen zur Ursache des Fehlschlagens aller Bemühungen hinreichend sein, daß man die aus dem Fixierbad kommende Hand am Handtuch trocknet, ohne sie vorher abgespült zu haben, und später gelegentlich nach Berührung derselben Stelle des Handtuches in den Entwickler greift. Daher kann jedesmaliges Abspülen nach Berührung irgend eines Bades nicht genug empfohlen werden.

Alle Entwickler sind gut, es kommt nur darauf an, daß man damit umzugehen weiß. Am wenigsten dürften die sehr energisch und rasch arbeitenden Entwickler (Brillant etc.) empfohlen werden, die alle zu Schleierbildung neigen.

Das ständige Bewegen der Platte beim Entwickeln kann man sich dadurch bequemer machen, daß man unter die Schale einen Bleistift legt und sie über diesem als Achse schwingen läßt.

Nicht jedes Leitungs- oder Quellenwasser ist zum Verdünnen der Entwickler gleich gut geeignet. Zwar wird man bei $^{9}/_{10}$ der Leitungen mit dem gewöhnlichen Wasser auskommen, gelegentlich wird aber ein Fall vorkommen, daß man hier, d. h. nur beim Entwickeln, destilliertes Wasser benutzen muß.

Daß der Entwickler die Platte gut überdecken muß, daß nicht durch Luftbläschen oder Staub einzelne Teile bedeckt werden und so in der Entwicklung zurückbleiben, dafür ist selbstverständlich zu sorgen.

Der konzentrierte Entwicklerbrei ist bei einzelnen radiologischen Firmen fertig käuflich. Bei Selbstbereitung setzt man ihn nach v. Hübl an, indem man in 40 ccm heißem Wasser $12^{1}/_{2}$ gr wasserfreies Natriumsulfit (oder 25 gr krystallinisches) löst. Nach vollständiger Auflösung setzt man 10 gr Glycin und langsam 50 gr Pottasche zu. Das ganze gibt ca. 75 ccm breiartigen konzentrierten Stoff, der vor dem Gebrauche jedesmal stark zu schütteln ist.

Durchschnittlich wird der konzentrierte Entwickler zum Gebrauch mit 12 bis 15 mal so viel Wasser verdünnt. Bei warmer Temperatur (ca. 22 ° C) des Bades hütet ein geringer Bromkalizusatz vor Schleier.

Der Glycinentwickler hat vor allem den Vorzug einer schleierfreien zuverlässigen Bildhervorrufung und einer gewissen selbst-

ständigen Korrektion der Expositionszeit. Ist eine Platte zu lange exponiert, so wird der Glycinentwickler sie nicht leicht verderben und dennoch bei einer zu kurz belichteten (unterexponierten) alles „herausholen“, was irgend aus ihr gemacht werden kann.*)

Unter Standentwicklung versteht man die Methode, die Platten in sehr verdünnten Entwicklerlösungen langsam hervorzurufen, wobei man der fortwährenden Aufsicht entraten kann. Die Platten dürfen dabei in den Entwicklungsgefäßen nicht liegen — da sich sonst leicht kleine, aus der Lösung gegangene Teilchen auf ihr festsetzen können, — sondern müssen stehend angeordnet sein. Hierzu dienen besondere Entwicklungsgefäße verschiedener Konstruktion. Vielfach in Gebrauch ist die Standentwicklung mit Glycin, bei der man je nach dem Grade der Verdünnung nach $^1/_2$—1stündigem Warten auf ein richtig hervorgerufenes Bild rechnen kann. Spezielle Vorschriften hierüber besitzt jeder Entwickler für sich.

4. Hilfsapparate. Konstruktionen für allerlei Hilfsapparate, wie automatische, elektrisch oder mechanisch angetriebene Schaukelapparate für die Entwicklungsschale, Spül- und Waschvorrichtungen, Entwicklungsgefäße etc., sind verschiedene vorgeschlagen und angeführt. Doch kann man wohl sagen, daß Einfachheit in diesen Dingen ratsam ist, denn besser werden die Bilder bei Anwendung all dieser Apparate auch nicht.

Im großen Betriebe mag sich indessen die mechanische Schalenbewegung nach Goetze (Veifawerke-Aschaffenburg) oder der Gocht'sche Entwicklungsapparat bezahlt machen.

5. Das Fixieren. Aus dem Entwickler gelangt die Platte ins Wasser, um zum erstenmale mit einem sanften Wasserstrahl — nicht einem, der die Emulsion herunterspült — gut abgespült zu werden. Dieses Abspülen, am besten mit Hilfe einer Brause ausgeübt, hat den Zweck, die Entwicklungsflüssigkeit abzuwaschen, die das Fixierbad sonst beeinträchtigen würde. Nach einer Minute solcher Reinigung etwa gelangt die Platte endlich in das Fixierbad.

Durch Lösen des käuflichen Fixiersalzes (unterschwefligsaures Natron) in Wasser bis zur Sättigung und durch Zusatz von ein wenig (1—2%) Säure (Zitronen- oder Schwefelsäure) wird das saure Fixiersalz bereitet. Hierin wird die Platte klar und gilt — was bei Röntgenplatten wohl zu beachten ist — auch dann noch nicht für ausfixiert, wenn die letzte Spur weißlicher Trübung auf der Glasseite und in der Durchsicht verschwunden ist. Vielmehr ver-

*) Weitere Angaben über die verschiedenen vorgeschlagenen Entwickler finden sich in dem mehrfach zitierten Kompendium der Röntgenographie.

bleibt sie noch einige (etwa 3) Minuten länger im Fixierbad und dann erst ist es gestattet, Tageslicht oder sonstiges aktinisches Licht in den Raum zu lassen.

Das Fixierbad kann, wenn es angesäuert ist, lange Zeit benutzt werden. Allmählich freilich verliert es an Kraft und muß durch Zusatz von frischem Salze gekräftigt oder vollständig ersetzt werden. Die zunehmende Bräunung des Bades deutet dieses Altern an.

Die gebrauchten Entwickler können im Gegensatz zum Fixierbad nur wenig mehr benutzt werden, lassen sich aber immerhin, eventuell durch Zusatz konzentrierter Lösung, auch einige Male unmittelbar hintereinander benutzen. Offenes Stehen vertragen indessen die Entwicklungslösungen fast garnicht und büßen meist schon nach wenigen Stunden so sehr an Kraft ein, daß sie unbrauchbar erscheinen. Will man daher mehrere Platten mit wenig Verbrauch entwickeln, so hat es unmittelbar hintereinander zu geschehen. 6. Gebrauchte Lösungen.

Nach dem Fixieren beginnt das reichliche Auswaschen der Platten in fließendem oder doch öfter gewechseltem Wasser während mehrerer Stunden. Nur sehr gut ausgewässerte Platten können auf Haltbarkeit Anspruch erheben oder nach dem unten angegebenen Verfahren verstärkt werden.

Das nunmehr fertige Negativ wird gegen eine mattweiße Fläche von gleichmäßiger Beleuchtung gehalten, um es zu studieren. Sehr gut sind die zu diesem Zweck von Metzner und anderen angegebenen sogenannten „Lichtkästen“. 7. Das entwickelte Negativ.

Ein gut durchexponiertes, mit weicher Röhre belichtetes Negativ zeigt schöne Kontraste zwischen den Fleisch- und Knochenteilen und in den Knochenteilen selbst die feinste Strukturabtönung. Die „Brillanz“, die tiefe Schwärzung der unbedeckten Teile, das hierdurch bewirkte, fast plastische Hervortreten der Knochen ist indessen nur (worauf Gocht zuerst hinwies) mit ganz wenig benutzten, mit ganz „jungen“ Röhren erreichbar. Schon nach einigen Aufnahmen nimmt dieser tiefe Kontrast ab, ohne daß deswegen die diagnostische Qualität des Bildes leidet. Aber die Aufnahmen, die mit so verblüffender Schwärzung uns auf so vielen Ausstellungen, von Seiten mancher Firmen und einzelner Röntgeninstitute ausgestellt, entgegenleuchten, sind, wenn sie nicht auf anderem Wege verbessert wurden, in der Regel mit ganz jungen Röhren hergestellt.

War die Röhre ein wenig zu hart, so zeigt die Platte unweigerlich Schleierbildung infolge der Sekundärstrahlen, insbesondere finden wir diesen Schleier stets bei Beckenaufnahmen Erwachsener. Man sollte diese Aufnahmen daher nie ohne Blende machen. Etwas zu

viel Schleier, insbesondere auch bei einigermaßen zu langer Exposition (bei zu harter Röhre), macht unsere Mühe vergeblich.

Zu kurze Exposition, ein übrigens seltener Fehler, zeigt sich in der Platte durch Helligkeit, Durchsichtigkeit des ganzen Bildes, durch Strukturlosigkeit der Knochenteile an. Die Weichteile weisen dabei mehr Details auf. Die Platte sieht „glasig" aus.

Überexposition läßt bei weicher Röhre nur die Weichteilpartien mehr verschwinden, während die Knochenteile, wenn auch schon recht dunkel, immer noch viele Strukturdetails wiedergeben. War die Röhre indessen zu hart, so ist die Platte grau, ohne schöne Zeichnung, ohne Schwärzung oder Deckung der Randpartien.

Es gibt Methoden, die „Brillanz" der Platte zu vergrößern, ihre Kontraste zu vermehren, einer unterexponierten Platte den Anschein einer reichlich exponierten zu geben. Manche Radiographen wenden eine dieser Methoden, die Verstärkung, bei allen Negativen an.

8. Die Verstärkung.

Die sehr gut gewässerte Platte wird in ein Bad (eigene Schale!) von in Wasser (halb gesättigt) gelöstem weißem Quecksilbersublimat (sehr giftig) gelegt und nimmt darin allmählich eine grau-bläuliche, dann immer weißere Färbung an. Je nach dem Grade der gewünschten Verstärkung läßt man diese Verfärbung mehr oder weniger weit fortschreiten, achtet aber wohl darauf, daß das Bad alle Stellen der Platte gleichmäßig und in gleicher Konzentration und fortwährender Bewegung überströmt. Dann wird die Sublimatlösung, die öfter benutzt werden kann, beseitigt und aufbewahrt, die Platte oberflächlich abgespült und kommt in ein Bad von Ammoniak oder Salmiak, indem sie sich wieder schwärzt.

Die so behandelte Platte zeigt eine vermehrte Durchdeckung, erhöhten Kontrast, größere Brillanz. Man kann freilich des Guten auch zu viel tun. Die Feinheit des Korns nimmt bei der Verstärkung ab.

9. Die Abschwächung.

Eine Möglichkeit, durch Überexposition mit weichen Röhren oder durch zu weitgehende Verstärkung allzu dicht gewordene Platten wieder zu reduzieren, gewährt das Abschwächeverfahren. Die sorgfältig gewaschene Platte kommt in ein Bad von Fixiernatron und rotem Blutlaugesalz, dessen Blutlaugesalzgehalt die Geschwindigkeit der Abschwächung bestimmt. Verstärkung und Abschwächung kann zur gegenseitigen Korrektur in beliebiger Reihenfolge wiederholt werden.

Mit dem Positivverfahren, dem Kopieren der Negative auf lichtempfindliches Papier soll sich der Arzt nicht befassen. Das Verfahren ist zeitraubend und undankbar für den Ungeübten. Muß schon eine Kopie gemacht werden — und zum S t u d i u m e i n e s

Falles dient nur das Negativ —, so überlasse man dies einem tüchtigen Photographen, dem man gesagt hat, worauf es ankommt.*)

10. Umdruck- und Diapositivverfahren.

Zum Schlusse sei noch, nicht des Nachahmens, sondern der Kenntnis halber, einer Methode gedacht, aus schlechten oder mittelmäßigen Negativen noch relativ „gute" zu machen, des Umdruckverfahrens. Die zu verbessernde (unterbelichtete oder zu wenig entwickelte) Platte wird in der Dunkelkammer mit der Schichtseite auf die Schicht einer frischen Platte gelegt. Man läßt einen schwachen Lichtschein durch die belichtete Platte auf die Emulsion der unbelichteten fallen. Die so exponierte wird nach der Entwicklung kräftig verstärkt, ihr Bild ein zweitesmal in gleicher Weise auf eine dritte Platte übertragen, diese eventuell wieder verstärkt, und so fort, bis der gewünschte Grad von Brillanz erreicht ist.

Manche Autoren stellen von ihren besten Negativen verkleinerte Diapositve her, um diese eventuell mit Hilfe eines Projektionsapparates einem größeren Zuschauerkreise zugänglich zu machen. Die Herstellung solcher Diapositive zu erläutern, kann aber nicht Zweck dieser Zeilen sein.*)

---

*) Ausführliche Darstellung findet sich ebenfalls im Kompendium der Röntgenographie.

Sachregister.

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

I.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

R.

S.

Sch.

St.

T.

U.

V.

W.

X.

Z.

Heusersche Verlags-Druckerei, Neuwied.





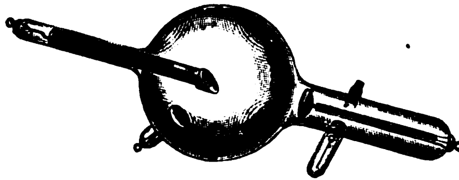
Weltausstellung St. Louis 1904
Höchste Auszeichnung: Grand Prix.

Emil Gundelach,

Gehlberg in Thüringen.

Älteste und größte

Spezial-Fabrik für Röntgenröhren.



Röntgen-Röhre

D. R. P. No. 109449

mit röhrenförmiger, schwerer, **emaillierter** Antikathode für starke Beanspruchung besonders geeignet.

Eingetragene  **Schutzmarke.**



„Silberne Medaille“ Mainz 1903.

Platten für Röntgen-Aufnahmen.

Badische Trockenplattenfabrik Kretschmar & Sohn

Telefon 1714. Karlsruhe Sofienstraße 5.

Fabrikation sämtlicher Arten photographischer Trockenplatten.

Spezial-Röntgen-Platten

hochempfindlich, tadelloser, gleichmäßiger Maschinenguß, sehr detailreich mit kräftiger Deckung.

Wir liefern hierin alle gangbaren Formate; nicht lagernde Größen werden schnellstens angefertigt.

Ferner empfehlen wir für wissenschaftliche Zwecke unsere neuen

Sachs-Platten von ganz enormer **Empfindlichkeit,**

auch farbenempfindlich.

Wir stellen jetzt nach einem neuen Verfahren eine Platte her, die alle Vorzüge, welche überhaupt eine Platte haben kann, in sich vereinigt.

Unsere neue Platte ist sehr silberreich hat eine wunderbare Deckkraft

Unsere neue Platte arbeitet vollkommen schleierfrei ist dick gegossen

Unsere neue Platte hat fast gar keine Lichthöfe entwickelt schnell und leicht

Unsere neue Platte bringt die feinsten Spitzlichter zum Ausdruck und ist enorm lange haltbar.

Und der größte Vorteil, den unsere neue Platte bietet, ist der, daß die Entwicklung bis zum Schluß tadellos verfolgt werden kann, da die Platte nicht durchschlägt.

Ganz besonders zu empfehlen sind außerdem unsere

Sachs-Diapositiv-Platten

(Chlor-Bromsilber auf Solinglas).

Zur Herstellung von Fenster- und Skioptikon-Bildern sind unsere

Diapositiv-Platten unentbehrlich!

Sachs-Diapositiv-Platten von ersten Autoritäten empfohlen, sind **Das Beste vom Besten.**

Ausführliches Preisbuch über unsere sämtlichen Fabrikate steht jedem gratis und franko zur Verfügung.

Joh. Sachs & Co. Älteste Trockenplattenfabrik Deutschlands, **Berlin SW.**

Johanniterstraße 8.